
JÄLKIJÄNNITETYN PAIKALLAVALULAATAN TYÖVAIHEKUVAUS



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Visamäki, kevät 2015

Juuso Lindroth



Visamäki, Hämeenlinna
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Tekijä	Juuso Lindroth	Vuosi 2015
Työn nimi	Jälkijännitetyn paikallavalulaatan työvaihekuvaus	

TIIVISTELMÄ

Betoni on käytetyin rakennusaine, mutta sen heikon vetolujuuden vuoksi se tarvitsee tuekseen rakennetta tukevia raudoitteita. Jälkijännityksen tehtävänä on lisätä esimerkiksi holvirakenteissa betoniin kohdistuvan kuorman kantokykyä. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin erityisesti ankkuri-jännebetonoinnin tartunnattoman jänteen eli rasvajänteen asennusta ja käyttöä.

Opinnäytetyön kohdetyömaana toimi Matinkylän Metrokeskus. Erityisesti opinnäytetyön työvaihekuvauksessa tarkasteltiin kohdetyömaan parkkihallin G-lohkoa. Opinnäytetyön yhteistyö kumppanina toimi Rakennusliike Sierak Oy, joka toimi NCC:n alihankkijana metrokeskustyömaalla.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa mahdollisimman yksityiskohtainen ja selkeä työvaihekuvaus jälkijännitetyistä paikallavalulaatasta. Työvaiheita selkeyttämään ja havainnollistamaan käytettiin kesällä 2014 työmaalla otettuja valokuvia. Työ tehtiin soveltaen kirjallisuuden teoriaa ja hyödyntäen työmaalla tehtyjä havaintoja.

Opinnäytetyö koostuu teoriaosasta ja käytännönläheisestä työvaihekuvauksesta. Teorian tarkoituksena on tukea työvaihekuvausta ja esitellä sitä pohjustava teoria, joka varsinaisesta työvaihekuvauksesta on jätetty pois. Työhön sovellettiin käytännön oppeja, joita rakennusmestariharjoittelu kohdetyömaalla toi.

Opinnäytetyön lopputuloksena saavutettiin selkeä ja johdonmukainen työvaihekuvaus. Työvaihekuvauksessa onnistuttiin tiivistämään jälkijännitetyn paikallavalulaatan olennaisimmat työvaiheet ja työlle asetetut tavoitteet saavutettiin.

Avainsanat Paikallavalulaatta, Jälkijännittäminen, Betoni, Muotti

Sivut 60 s. + liitteet 15 s.

Visamäki
Degree Programme in Construction Management

Author	Juuso Lindroth	Year 2015
Subject of Bachelor's thesis	Description of work phases of a post-tensioned in-situ cast concrete slab	

ABSTRACT

Concrete is the most used construction material but it has a weak tensile strength. That is why concrete needs reinforcement iron. The purpose of post-tensioning is to increase the load-carrying capacity of concrete, for example in a cupola structure. The aim of this Bachelor's thesis was to examine the installation and use of an unbonded anchored tendon or grease tendon. The target worksite was the Matinkylä Metrocenter in Espoo. The thesis focused especially on the section G in the parking garage. The construction company Sierak Oy acted as a cooperation partner. Sierak Oy works as a subcontractor of NCC in the Matinkylä Metrocenter.

The objective was to create a detailed and logical description of the work phases of a post-tensioned in-situ cast concrete slab. The thesis has a theoretical and practical section. The purpose of the theory is to support the description of work phases and introduce the main terms of the subject. In addition, the writer's experience gained during work placement on the construction site was utilized. The description of the work phases is demonstrated with photos taken in the summer 2014.

As a result of the thesis a clear and logical description of the work phases was obtained. The description includes the main work phases of a post-tensioned in-situ cast concrete slab.

Keywords in-situ cast concrete slab, pre-stressing, post-tensioning, concrete, mold

Pages 60 p. + appendices 15 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	BETONI	2
2.1	Betonin ominaisuudet.....	2
2.1.1	Sementti	3
2.1.2	Betonin lisäaineet	4
2.1.3	Betonin rasitusluokat	5
2.2	Betonin lujuusluokat ja puristuslujuus	7
2.2.1	Betonin vetolujuus	8
2.2.2	Betonin jäätymisljuuus ja muottien purkamisljuuus	9
2.3	Betonimassa	9
2.4	Betonin rakenneluokitus.....	10
2.5	Betonimassan valmistus	10
2.5.1	Valmisbetoni.....	11
2.6	Betonimassan valinta.....	11
2.6.1	Betonimassan valinta jälkijännitettyyn laattaan	12
2.7	Jälkihoidon merkitys	13
2.7.1	Jälkihoidon tarve ja merkitys.....	13
2.7.2	Suojaaminen	14
2.7.3	Kosteana pitäminen	14
2.7.4	Kovettumislämpötilasta huolehtiminen.....	14
3	RAUDOITUS JA JÄLKIJÄNNITYS	15
3.1	Teräsbetonin ja raudoituksen periaate.....	15
3.1.1	Teräslaadut	16
3.2	Hitsaustyöt.....	16
3.3	Raudoituksen betonipeite ja tuenta	16
3.4	Työmaajärjestelyt	17
3.5	Laatat	17
3.6	Jälkijännittäminen	17
3.6.1	Jännityslaitteet	20
3.7	Jänneteräket	22
3.8	Jännitettyjen betonirakenteiden edut ja käyttökohteet	22
4	BETONIMUOTTI.....	24
4.1	Materiaalit ja tukirakenteet.....	24
4.2	Vaakarakenteiden muotit.....	25
4.3	Muottityönsuunnittelu ja muottijärjestelmän valinta	26
5	TYÖVAIHEKUVAUS	27
5.1	Muottisuunnitelma ja aloittavat työt	30
5.1.1	Pöytämuottien asennus	30
5.1.2	Tukitornit ja puupalkkimuotti sekä näiden asennus	32
5.1.3	Muottitöiden työturvallisuus	37
5.2	Raudoitus- ja punostyön aloittaminen.....	37
5.2.1	Pilaripäihin vaadittavat työt.....	37
5.2.2	Palkin raudoitus ja punostyöt	39
5.2.3	Holvin raudoitus ja punostyöt	43

5.2.4	Raudoituksen työturvallisuus	47
5.3	Betonoinnin aloittavat työt ja työkohteen valmistelu.....	47
5.3.1	Pumppubetoniauto ja betonin siirto pumppaamalla	47
5.3.2	Betonointi	48
5.3.3	Jälkihoito- ja lopettavat työt	49
5.3.4	Betonoinnin työturvallisuus.....	50
5.4	Jälkijännitystöiden aloittaminen.....	50
5.4.1	Jännitystyö ja tulosten merkitseminen.....	52
5.4.2	Punosten katkaisu, varustaminen ja täyttö.....	54
5.4.3	Jälkijännitystöiden työturvallisuus	55
5.5	Muottien purku.....	56
5.5.1	Muottikaluston lajittelu	57
5.5.2	Muottien purun ja siirron työturvallisuus	58
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	58
	LÄHTEET	61

Liite 1	Pöytämuottityypit
Liite 2	Muottisuunnitelma
Liite 3	Palkin raudoituspiirustus
Liite 4	Alapinnan raudoitus
Liite 5	Jännepunoskuva
Liite 6	Yläpinnan raudoitus
Liite 7	Betonointisuunnitelma
Liite 8	BetoPlus-laskelma
Liite 9	Punosluettelo

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on jälkijännitetyn paikallavalulaatan työvaihekuvausten toteutus. Opinnäytetyö koostuu kahdesta osasta. Ensimmäiseksi käydään läpi työvaihekuvausten kannalta olevat teorian osat, jotka ovat betoni, raudoitus ja jälkijännitys sekä betonimuotti. Työn varsinainen tuotos on työvaihekuvaus, jonka tarkoituksena on mahdollisimman tarkka kuvaus jälkijännitetyn paikallavalulaatan työvaiheista.

Opinnäytetyön esimerkkityömaana toimii Matinkylän Metrokeskus. Eri-tyisesti työvaihekuvauksessa käsitellään kyseisen työmaan parkkihallirakennuksen G-lohkoa. Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä rakennusliike Sierak Oy:n kanssa, joka toimii työmaalla NCC:n alihankkijana.

Rakennusliike Sierak Oy on vuonna 1993 perustettu yritys, jonka erityisosaamista ovat paikallavalutekniikat ja betonirunkorakenteet. Aiempaan työmaana mainittakoon Flamingon vapaa-ajankeskuksen seitsemänkerroksisen pysäköintitalon rakennustyömaa, jossa Sierak Oy toimi aliurakoitsijana ja toteutti pysäköintitalon runkotyöt. (Sierak n.d; Mannonen 2008, 92.)

Opinnäytetyön työvaihekuvaus päätettiin toteuttaa yksityiskohtaisena kronologisesti, mutta kuitenkin yksikertaisesti ja selkeästi. Työvaihekuvausta tukevat kesällä 2014 työmaalta itse otetut valokuvat työvaiheista. Valokuvien ympärille on vaihe vaiheelta kuvattu jälkijännitetyn paikallavalulaatan työvaiheet. Osana työvaihekuvausta on myös työvaihekohtainen työturvallisuus, jossa on otettu huomioon erityisesti kussakin työvaiheessa ilmenevät työturvallisuusriskit.

Työn teoriaosuuteen valittiin ne teorian osat, jotka ovat olennaisia työvaihekuvausta ajatellen. Teorian tarkoituksena on avata ne teoreettisesti tärkeät seikat, joihin työvaihekuvausten työvaiheissa viitataan. Tämän tarkoituksena on pitää työvaihekuvaus selkeänä, sillä teoria on saatu näin pidettyä erillään työvaihekuvausten esittäjästä käytännön toteutuksesta.

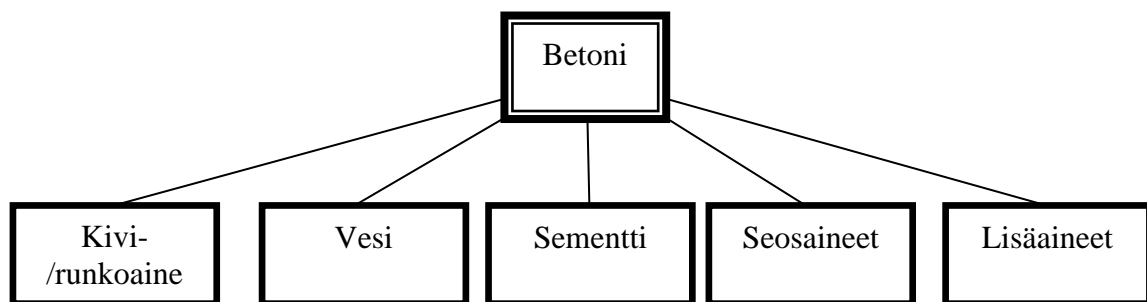
Työn tavoitteena on luoda mahdollisimman selkeä kuva jälkijännitetyn paikallavalulaatan työvaiheista. Teorian tavoitteena on tukea työvaiheita ja antaa käytännön läheiselle työvaihekuvaukselle teoreettinen pohja. Valokuvien tarkoituksena on havainnollistaa työvaiheiden käytännön toteutusta.

2 BETONI

Betoni on yksi yleisimmin käytetyistä rakennusmateriaaleista. Yhtenä betonin puutteena voidaan kuitenkin nähdä sen kestäämättömyys ilman rakennetta tukevia ja jäykistäviä raudoituksia. Aineena betoni on keinotekoisesti tuotettua kivimassaa. Betonimassa saadaan liimaamalla toisiinsa erikoisia kiven kappaleita. Seoksen sitova liima valmistetaan sekoittamalla vettä ja sementtiä keskenään. (Uusitalo, Ihanamäki, Rajala & Vallin 2012, 8–9.)

2.1 Betonin ominaisuudet

Betoni on keinotekoisesti valmistettu tekokiviaines, jonka raaka-aineena käytetään sementin, runkoaineen ja veden lisäksi erilaisia lisäaineita. Nämä lisäaineet saavat seoksen erikokoiset kivirakeet kovettumaan betoniksi. Valmiin betonin ominaisuudet ja kovettuminen riippuvat sen valmistukseen käytetyistä tekniikoista sekä siihen käytettävien raaka-aineiden suhteista. Alla olevassa kuvassa on esitetty aineet, joista betoni koostuu. (Uusitalo ym. 2012, 8.)



Kuva 1. Betonin raaka-aineet (mukaillen Uusitalo ym. 2012, 10).

Suurin osa, jopa 60–80 %, betonin massasta koostuu kiviaineksesta. Kiviainesten laadulla ja ominaisuuksilla on suuri vaikutus siihen, minkä laatuista betonia saadaan. Runkoaineena voidaan käyttää sellaista kiviainesta, joka on riittävän lujaa, tiivistä ja riittävän rakeista. On myös tärkeää, että kiviaines on puhdasta. Runkoaineena käytettävän kiviaineen tulee olla sellaista, joka ei osallistu sementin reaktioihin eikä vaikuta betonin säilyvyyteen heikentävästi. Kiviainesta tulee olla helposti ja riittävästi saatavilla, eikä sen suuren kulutuksen vuoksi hinta voi olla korkea. Luonnonkiviainekset voivat olla kallioperäisiä tai kivennäismaalajeista murskattuja. Runkoaineena käytettävän kiviaineen valintaa rajoittavana tekijänä on usein pitkiksi muodostuvat kuljetusmatkat. Suomessa yleisin kiviaines on mekaanisesti murskattu, graniittipohjainen luonnonkiviaines. (Honkavuori & Lampinen 2009, 31–32; Uusitalo ym. 2012, 19.)

Veden tehtävänä betonin valmistuksessa on reagoida sementin kanssa, jonka seurauksena sementtiliima kovettuu. Lisäksi veden ansiosta betoni on olomuodoltaan paremmin muokattavaa. Veden tulee olla puhdasta, eikä

se saa sisältää epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet voivat vaikuttaa haitallisesti betonin kovettumiseen tai sen muihin ominaisuuksiin. Tällaisia ovat humuspitoiset suovedet tai asumajätteiden saastuttamat vedet. Myöskään sokeri ei ole hyväksi betonille. Pienikin määrä sokeria voi estää betonin kovettumisen. Myös öljyt ja rasvat ovat haitallisia betonille, sillä ne voivat vaikeuttaa sementin hydratoitumista eli sementtiliiman kovettumista sementiksi. Sementtihiukkasten pinnalle kiinnittyessään rasvat voivat estää hydrataatioreaktion tai lisätä ilman määrää betonissa. (Honkavuori & Lampinen 2009, 62–63; Uusitalo ym. 2012, 18.)

2.1.1 Sementti

Sementti on oleellinen raaka-aine betonin valmistuksessa. Sen tehtävän on ympäröidä betonin rungon ainekset ja liimata ne toisiinsa. Tämä on seurausta sementin luontaisesta kyvystä reagoida kemiallisesti veden kanssa. Tämän reaktion seurauksena sementtiliima kovettuu sementiksi. Tätä reaktiota kutsutaan sementin hydrataatioksi. Varsinainen reaktio alkaa vasta jonkin aikaa veden lisäyksestä. Reaktion nopeuteen vaikuttavat sementin laatu ja seoksen lämpötila. Hydrataation on mahdollista käynnistyä niin ilmassa kuin vedessä, mikä mahdollistaa betonoinnin myös veden alla. Myös sementin sisältämällä seosaineilla ja niiden laadulla on vaikutusta hydrataatioon. Seosaineita voivat olla muun muassa masuunikuona, lentotuhka tai silika. Seosaineet lisätään sementtiin yleensä sen jauhatusvaiheessa, mutta niiden lisääminen on mahdollista vielä betonointivaiheessakin. (Uusitalo ym. 2012, 10,12.)

Sementin valmistuksessa kalkkikiveen lisätään piioksidia, alumiinioksidia, rautaoksidia sekä kipsiä ja seosaineita. Kun sementtiin tarvittavat kalkkikivet on jauhettu myllyssä, raakajauhe poltetaan kiertouunissa sementtiklinkkeriksi. Lämmitettäessä kalkki-, pii-, alumiini- ja rautayhdisteet muuntuvat kalsiumyhdisteiksi reagoidessaan keskenään. Kun uunin lämpötila nousee 1300–1500 asteeseen, uunin erillisessä alaosassa sijaitsevasa sintrausvyöhykkeessä muuttuvat aiemmin muodostuneet kalsiumyhdisteet sintraantumalla sementtiklinkkeriksi. Tämän jälkeen karkeaa soraa muistuttava klinkkeri jäädytetään 200-asteiseksi ja välivarastoidaan myöhempiä valmistusvaiheita varten. Lopullinen sementti valmistetaan jauhamalla klinkkeri myllyssä hienoksi jauheeksi. Jauhamisvaiheessa sementtijauheeseen lisätään seosaineita ja tarvittava määrä kipsiä. Kipsin tehtävänä on vaikuttaa sementin kovettumiseen siten, että ennen sen kovettumista on myös aikaa työstää betonia. Mitä hienommaksi sementti jauhetaan, sitä nopeammin se kovettuu. (Uusitalo ym. 2012, 11–12.)

Yksi tärkeimmistä betonin ominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä on vesi-sementtisuhde. Mitä suuremmaksi vesi-sementtisuhde nousee, sitä huonolaatuisempaa betonia saadaan. Vesi-sideainesuhteeksi taas kutsutaan veden ja sideaineiden massojen suhdetta ($w \geq 0,4$; vesisementtisuhde). (Uusitalo ym. 2012, 13.)

2.1.2 Betonin lisäaineet

Betonin lisäaineilla tarkoitetaan niitä osa-aineita, joita käytetään betonin muiden raaka-aineiden lisäksi muuttamaan betonimassan tai jo kovettu- neen betonin jotakin ominaisuutta. Lisäaineet vaikuttavat joko fysikaali- sesti tai kemiallisesti, ja niiden määrät ovat pieniä. Yleisesti niillä paran- taan betonimassan teknisiä ominaisuuksia tai vaikutetaan sen taloudelli- seen kilpailukykyyn. Joissain tapauksissa betonin valmistus ilman lisäai- neita on liki mahdotonta tai vaikeaa. Tästä esimerkkinä ovat vaikkapa korkealujuuksiset betonit. (Honkavuori & Lampinen 2009, 63.)

Lisäaineita käytettäessä tulisi muistaa esikokeiden ja huolellisuuden tärke- ys. Lisäaineiden sivuvaikutukset ja niiden seuraukset voivat olla yllättäviä kokemattomalle käyttäjälle. Lisäaineiden toimintaan vaikuttavat lisäaine- lajin ja määrän lisäksi esimerkiksi runkoaineen rakeisuus, sementin laatu ja määrä, työstölämpötila, annostusjärjestys ja betonisekoittimen teho. Li- sääaineita annosteltaessa ei saa ylittää valmistajan suosittelemaa annosmää- rää eikä 50 g lisäainetta / kg sementtiä -suhdetta. Annostuksen ylittäminen on mahdollista ainoastaan, jos suuremman annoksen vaikutus betonin ominaisuuksiin ja säilyvyyteen on tiedossa. Mikäli lisäaineen annos jää pienemmäksi kuin 2 g sementtikiloa kohti, tulee lisäaine laimentaa sekoit- tamalla se pieneen määrään vettä ennen betonin valmistusta. Alla olevassa taulukossa on esitetty betonin lisäaineita. (Honkavuori & Lampinen 2009, 63.)

Taulukko 1. Betonin lisäaineet (Mukaillen Honkavuori & Lampinen 2009, 64).

Notkistavat lisäaineet	N, Nt, Nn
Huokoistimet	Lh
Muut pakkasenkestävyyttä parantavat aineet	Lm
Kiihdyttimet	K
Hidastimet	H
Tiivistysaineet	T
Injektioaineet	I
Muut lisäaineet	M

Notkistimet ovat pinta-aktiivisia aineita, jotka toimivat veden ja sementin välillä. Niiden tehtävänä on parantaa betonin teknisiä ja taloudellisia omi- naisuuksia. Tällainen tekninen ominaisuus voi olla esimerkiksi työstettä- vyyden, kuten pumpattavuuden, parantaminen. Ominaista notkistaville li- sääaineille on myös niiden mahdollistama vesi- ja sementtimäärien pienuus, joka mahdollistaa korkealujuuksisten betonien valmistamisen. Notkistimet ryhmitellään niiden tehokkuuden perusteella. Normaalisti notkistimilla saadaan noin 5–15 %:n ja tehonotkistimilla 12–30 %:n veden vähennys ilman että betonin muokattavuus huononee. (Honkavuori & Lampinen 2009, 64–65.)

Huokoistimia käytetään, kun betonissa olevan ilman määrää halutaan lisä- tä. Normaalisti betonissa on ilmaa 1...2 %, mutta huokoistimen avulla se

voidaan nostaa 4...8 %:iin. Korkealujuuksisissa betoneissa ilman määrä voi olla alle 1 %. Huokoistimien tehtävänä on muodostaa betonimassaan pieniä ilmakuplia, jotka jakautuvat tasaisesti massaan. Niiden tehtävänä on sitoa betonissa olevan veden paine sen jäätyessä ja estää betonin rikkoutuminen. Näitä huokosia kutsutaan myös suojahuokoisiksi. Yleisesti huokostin annostellaan siten, että sen osuus kokonaismäärästä on 0,01...0,03 %. Myös massan muokattavuus, notkeus ja koossapysyvyys paranevat huokoistimien avulla, ja osa-aineiden erottuminen vähenee. Huokoistin kuitenkin notkistaa betonia siten, että se alentaa kovettuneen betonin lujuutta. Huokoistimien avulla saadun 1%:n ilman lisäys aiheuttaa betonin lujuudessa 5%:n aleneman. (Honkavuori & Lampinen 2009, 66–67.)

Kiihdyttimien tarkoituksena on nopeuttaa betonin kovettumista ja muotikiertoa eli muottien käyttöä kokoamisesta valun kautta jälleen muotinpurkuun. Kiihdyttimien käyttö on yleistä etenkin talvibetonoinnissa, sillä kovettumisreaktion nopeutuessa betonirakenteen lämmityksen tarve ja aika vähenevät. Nykyään kiihdyttimien tarve betonirakentamisessa on jäämässä pois. Tähän syynä ovat kehittyneet lämmitysmenetelmät sekä kuumabetonin yleistynyt käyttö. (Uusitalo ym. 2012, 26.)

Hidastinten tehtävänä on siirtää sitoutumista. Mikäli betonimassaa täytyy kuljettaa pitkiä matkoja tai mikäli valmiissa työssä halutaan välttää työsaumoja, on hidastimista hyötyä. Myös kesällä tai lämpimissä olosuhteissa tehdyssä työssä hidastimen etu huomataan massan muokkausajan pidentymisenä. Betonimassan notkeuden menetystä ei voida hidastimillakaan estää. Hidastimet eivät myöskään vaikuta rakenteiden maksimihydrataatiolämpötilaan, vaan niiden tehtävänä on siirtää sen ajankohtaa. Hidastimen annostus on yleensä 1–3 % sideaineen kokonaismäärästä, ja annostukseen vaikuttavat muut seosaineet ja haluttu hidastusaika. Mikäli betonin työstäminen tapahtuu talvella tai kylmissä olosuhteissa, ei hidastimille ole tällöin tarvetta. (Honkavuori & Lampinen 2009, 67.)

Tiivistysaineiden tehtävänä on tiivistää betonimassaa ja pienentää sen nesteen ja kaasun läpäisevyyttä sekä parantaa betonin lujuutta. *Injektioaineilla* parannetaan injektioalaastin pumpattavuutta ja tunkeutuvuutta. Lisäksi injektioaineet myös paksuunnuttavat laastia. Tällaista laastia tarvitaan yleensä koneperustusten juotosvaluissa ja ankkurijänteiden injektoinnissa. (Uusitalo ym. 2012, 26.) Markkinoilla olevien erilaisten tiivistys-, injektointi- ja tartunta-aineiden käyttö on melko vähäistä (Honkavuori & Lampinen 2009, 68).

2.1.3 Betonin rasitusluokat

Betonin rasitusluokat ilmoitetaan yleisimmin yksinkertaisella taulukkomuodolla (taulukko 2), jolla voidaan mitoittaa rakenteet kaikissa rasitusluokissa. Betonin rasitusluokat ovat suoraan verrannollisia käyttöikäsuunnitteluun. Suunnitteluvaiheessa valitaan ne rasitusluokat, jonka rakenne joutuu kestäämään kyseisissä olosuhteissa tietyn ajanjakson. (Säilyvyys n.d.)

Taulukko 2. Betonin rasitusluokat (Silvennoinen, Hietanen & Tikanoja 2009, 4.)

Luokka	Kuvaus
Ei korroosiovaaraa tai rasituksia	
X0	Raudoittamaton betoni, kun ei ole merkittävää jäädytys-sulatusrasitusta, kulutusrasitusta tai kemiallista rasitusta Raudoitettu betoni hyvin kuivissa olosuhteissa
Karbonatisoitumisen aiheuttama korrosio	
XC1	Kuiva tai pysyvästi märkä
XC2	Märkä, harvoin kuiva
XC3	Kohtalaisen kostea
XC4	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Muun kuin meriveden kloridien aiheuttama korrosio	
XD1	Kohtalaisen kostea
XD2	Märkä, harvoin kuiva
XD3	Märkä ja kuiva vaihtelevat
Meriveden kloridien aiheuttama korrosio	
XS1	Kosketuksessa ilman kuljettaman suolan kanssa, mutta ei suorassa kosketuksessa meriveteen
XS2	Pysyvästi veden alla
XS3	Vuoroveden ja roiskeen vyöhykkeellä
Jäädytys-sulatusrasitus jäänsulatusaineilla tai ilman niitä	
XF1	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF2	Kohtalainen vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet
XF3	Suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita
XF4	Suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi
Kemiallinen rasitus (XA-luokat)	

X0-luokassa ei ilmene korroosion tai syöpymisrasituksen riskiä kuten muissa ryhmissä. Myöskään ympäristö ei ole rajoitteena X0-luokan rakenteiden käyttöille. Luokan rakenteet sijaitsevat kuivissa olosuhteissa, eikä niissä täten ilmene myöskään pakkasrasituksen mahdollisuutta. X0-luokan rakenteet eivät myöskään välttämättä vaadi raudoitusta. Jos raudoitusta kuitenkin tarvitaan, sijaitsee rakenne usein kuivissa tiloissa, jolloin korroosioriskiä ei ole. (Betonin rasitusluokat lyhyesti n.d.)

XC-luokissa betonin tehtävänä on suojata raudoitusta korroosiolta sekä kemiallisesti että fysikaalisesti. Betoni on luontaisesti emäksistä, jonka seurauksena raudoituksen pinnalle muodostuu oksidikalvo. Reagoidessaan ilmassa olevan hiilidioksidin kanssa betonin emäksisyys laskee. Tätä reaktiota kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Kun karbonatisoitumisessa betonin pH-arvo laskee normaalista 13–14 pH:sta alle 9:ään, raudoituksen oksidikalvo häviää ja teräs alkaa korroosioitua. Ympärillä vallitsevat olosuhteet vaikuttavat betonin karbonatisoitumisnopeuteen. Myös betonin koostumuksella ja betonipeitteen paksuus vaikuttavat reaktion nopeuteen. (Betonin rasitusluokat lyhyesti n.d.)

XD- ja XS-luokissa betonin korkeasta pH-arvosta huolimatta emäksinen ympäristö voi käynnistää teräskorroosion. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat erilaiset kloridit eli suolat. Teräskorroosiossa teräksen poikkipinta pienenee, ja korroosiotuotteiden eli suolojen vaikutuksista betoniin syntyneet lohkeamat vaikuttavat lyhentävästi betonirakenteiden elinikään. Korroosion aiheuttamilta haitoilta voidaan paremmin suojautua betoniraidoitusten riittävällä betonipeitteellä ja mahdollisimman tiiviillä betonimassalla.

Myös pienet halkeamaleveydet tulisi suojata kloridikorroosiota vastaan. (Betonin rasisitusluokat lyhyesti n.d.)

XF-luokissa betonin kapillaarihuokosissa ilmenevän veden jäätyessä betonissa tapahtuu niin sanottua pakkasrapautumista. Mikäli vedessä esiintyy klorideja, voivat ne osaltaan voimistaa betoniin kohdistuvaa pakkasrasitusta. Tämä johtuu siitä, että kloridien vaikutuksesta kosteus pääsee imeytymään betoniin alhaisemmassakin lämpötilassa ja kloridit eli suolat taas kasvattavat jäätymispainetta. Suojatoimenpiteenä betonin pakkasenkestävyyttä voidaan edistää huokoistamalla betonirakenteita. (Betonin rasisitusluokat lyhyesti n.d.)

XA-luokan kemiallinen vaurio johtuu siihen ympäristöstä kulkeutuvista aineista. Nämä kemialliset aineet liuottavat happamuudellaan sementin hydrataatiotuotteita ja tällä tavoin heikentävät näiden ominaisuuksia. Happamat aineet voivat myös paisuttaa sementtikiveä, joka taas aiheuttaa vaurioita rakenteessa. Jotta kemiallinen korrosio on mahdollinen, tulee haitallisten aineiden lisänä olla vettä. Tyypillisimpiä kemiallisia haitta-aineita betonille ovat muun muassa sulfaatit, erilaiset hapot sekä hiilidioksidi. Kemiallisen rasituksen kestävyyttä betonissa voidaan hidastaa mahdollisimman tiiviillä betonimassalla. Tiiviin massan tarkoituksena on hidastaa kemiallisten haitta-aineiden tunkeutuminen betoniin, mikä puolestaan lisää sen kemiallista kestävyyttä. Mikäli sideaineeksi valitaan SR-sementti eli normaalisti kovettuva sulfaatinkestävä portlandsementti, voidaan parantaa betonin sulfaatin kestävyyttä. SR-sementti voidaan valmistaa normaalia pienemmällä vesimäärällä, jolla on suora vaikutus sen vesisementtisuhteeseen. Tällöin betonin säilyvyys ja tiiviys paranevat. (Betonin rasisitusluokat lyhyesti n.d.; sr-sementti n.d.)

2.2 Betonin lujuusluokat ja puristuslujuus

Yksi betonin ominaisista piirteistä on sen puristuslujuus. Yleisesti lujuuden yksikkö on megapascal eli MPa ($1 \text{ MPa} = 1 \text{ MN/m}^2$). Betonin annetaan kovettua ja kuivua 28 vuorokautta, jonka jälkeen sen lujuus arvioidaan puristuskokeella. Betonin lujuuden kehitys jatkuu vielä kokeen jälkeenkin. Betoni luokitellaan lujuutensa perusteella puristuslujuusluokkiin, ja luokat ilmaistaan merkein K30 tai nykyisin merkinnällä C25/30. Yhteistä merkinnöille on, että merkit tarkoittavat betonin lujuuden 150 mm:n kuutiokoekappaleilla. Tällöin koekappale kestää 30 MPa:n puristuksen. Yleisimmät lujuusluokat ovat C25/30...C50/60 (K30...K60). Korkealujuiset betoniluokat ovat C55/67...C100/115 (K70...K100). (Betonin lujuus n.d.)

Taulukko 3. Normaalipainoisen betonin ja raskasbetonin puristuslujuusluokat (Anttila n.d, 13).

Puristuslujuus-luokka	Betonin pienin ominaispuristuslujuus, joka on määritetty sylinterimäisten koekappaleiden avulla $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Betonin pienin ominaispuristuslujuus, joka on määritetty kuutiomaisten koekappaleiden avulla $f_{ck,cube}$ N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Tärkein ominaisuus betonilla on sen hyvä puristuslujuus. Puristuslujuudella on hyvä mitata betonin ominaisuuksia. Lisäksi sitä on helppo mitata, ja useimmat betonin ominaisuudet ovat vertailukelpoisia siihen. (Honkavuori & Lampinen 2009, 79.)

Suurin yksittäinen betonin lujuuteen vaikuttava tekijä on vesisementtisuhte. Vesisementtisuhte kuvaa betonissa olevan veden määrän ja sementin painon suhdetta. Veden tehtävänä on lisätä betonin työstettävyyttä. Haittana on kuitenkin se, että mitä enemmän betonissa on vettä, sitä alhaisemman puristuslujuuden se saa. Mikäli helposti työstettävän vedellä ohennetun betonin kestävyyttä halutaan lisätä, tulee halutun lujuusarvon saamiseksi lisätä sementtiä. (Betonin lujuus riippuu vesi-sementtisuhteesta n.d.)

Muita betonin lujuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sementin laatu ja määrä, kiviaineksen laatu ja rakeisuus, kovettumislämpötila, jälkihoito, massan kovettumisikä, käytetyt seos- ja lisäaineet, veden laatu sekä massan tiiviys. Lisäaineet vaikuttavat joko fysikaalisesti tai kemiallisesti. Niiden määrät ovat kuitenkin pienet betonin muihin osa-aineisiin verrattuna. Lisäaineet lisäävät betonin teknisten ominaisuuksien lisäksi myös sen taloudellista kilpailukykyä. (Betonin lujuus n.d.; Honkavuori & Lampinen 2009, 63.)

2.2.1 Betonin vetolujuus

Betonin heikko puoli on sen vetolujuus, joka on noin 1/10-osa sen puristuslujuudesta. Kuitenkin laskennallisesti betonin vetolujuuteen perustuvia rakenteita on varsin vähän. Yleensä rakenteissa ilmenevät vetojännitteet otetaan vastaan raudoituksilla. On kuitenkin poikkeusrakenteita, joissa mitoitus perustuu vetolujuuteen. Tästä esimerkkinä ovat betonitiet. (Honkavuori & Lampinen 2009, 82.)

Mikäli betonirakenne halkeilee, on se merkki vetolujuuden ylityksestä. Tämä ylittymä voi johtua betonirakenteen sisäisestä jännityksestä, joka voi olla seurausta lämpötilan epätasaisuudesta betonirakenteen kovettumisvaiheen aikana. Vetolujuuden ylittymä voi johtua myös rakenteeseen kohdistuvista ulkoisista kuormista. Vetolujuuden kehitystä voidaan nopeuttaa lämpösuojauksilla, jolloin betonin kyky vastaanottaa kutistumasta aiheutuvia vetovoimia paranee. Betonimassan valinnassa on syytä ottaa huomioon sen kutistuma- ja lämmöntuotto-ominaisuudet. Näiden ominaisuuksien tulisi olla mahdollisimman pienet. (Honkavuori & Lampinen 2009, 82; Betonin valinta rakenteisiin -olosuhdehallinta n.d, 6.)

2.2.2 Betonin jäätymislujuus ja muottien purkamislujuus

Betonityönjohtajan tulisi tuntea betonin jäätymislujuus sekä muottien ja telineiden purkamislujuus. Betonirakenteen saavuttaessa jäätymislujuuden voidaan betonin antaa jäätyä kerran. Lujuuden saavuttamisen jälkeen jäätyminen ei vaurioita betonia niin paljon, etteikö hydratoitumisreaktio voisi korjata syntyneitä vaurioita. Käytännössä tämä tarkoittaa, että jäätymislujuuden saavuttamisen jälkeen betonirakenneseosan lämmittäminen voidaan lopettaa, mutta sitä suojaavien muottien purkaminen ei ole mahdollista. Muottien purkaminen on mahdollista vasta, kun rakenneosa on saavuttanut muottien purkamislujuuden. (Honkavuori & Lampinen 2009, 85–86.)

Minimiarvona jäätymislujuudelle pidetään 5 MPa:ta. Minimiarvo on riippumaton betonin lujuusluokasta. Nykyään tavoitteena on päästä muottien purkamisvaiheeseen mahdollisimman nopeasti. Käytännössä tämä merkitsee suurempien betonilujuuksien tarvetta. Muottien purkamislujuuden laskeminen on tärkeä vaihe rakentamisessa. Normina pidetään, että muottien tukirakenteiden purkaminen on turvallista, kun betonin kovettumisen on todettu edenneen niin, että rakenteet varatukineen kestävät niihin kohdistuvat rasitukset. Lisäksi on hyvä muistaa, että on suositeltavaa betonin lujuuden olevan vähintään 60 % lujuusluokasta tukirakenteiden purkamisvaiheessa, ellei rakennuspiirustuksissa ole toisin määrätty. (Honkavuori & Lampinen 2009, 86.)

2.3 Betonimassa

Betonimassa on sekoituksen jälkeen plastisessa tilassa aina sen sitoutumiseen saakka. Sekoittamisen jälkeen, +20 celsiusasteen lämpötilassa, plastisessa tilassa olevan betonin kovettumiseen menee 2..4 tuntia. Hydratoitumisreaktiossa betoni alkaa kovettua ja reaktion tuotoksena syntyy lämpöä. Kyseessä on tällöin kemiallinen reaktio, joten olosuhteisiin nähden 10 celsiusasteen lämpötilaero voi puolittaa reaktioajan tai kaksinkertaistaa reaktioajan pituuden. Betonimassan kovettumisen kannalta on hyvä huomioida olosuhteiden lämpötila, sillä betonimassa kovettuu huomattavasti hitaammin kylmällä säällä. (Honkavuori & Lampinen 2009, 69.)

2.4 Betonin rakenneluokitus

Rakenneluokka ilmaisee rakenteen suunnittelun ja työnsuorituksen vaatimuutta. Betonirakenteet jaotellaan kolmeen luokkaan, jotka ovat luokat 1, 2 ja 3. Rakenneluokka osoitetaan merkinnällä lujuusluokan yhteydessä, esimerkiksi K30-2. Jokaisella luokalla on omat suunnittelu- ja työnsuoritusohjeet, joita tulee noudattaa. Rakenneluokan mukaisia betonirakenteita valmistettaessa betonityönjohtajalla tulee olla kuhunkin luokkaan vaadittava koulutus riippuen siitä, minkä luokan valmistuksesta hän vastaa. (Betonirakenteet 2000, 5, 77.)

1-luokan rakenteet ovat vaatimuksiltaan korkeatasoisimpia. Tällaisia rakenteita ovat muun muassa jännitetyt rakenteet ja vaativat siltatyöt. Ensimmäisen luokan elementtirakenteet tulee valmistaa erityisissä valmistuslaitoksissa, jotka ympäristöministeriö on hyväksynyt. Myös suunnittelijan ja betonityönjohtajan pätevyyksien on vastattava 1-luokan vaatimuksia. (Uusitalo ym. 2012, 48; Betonirakenteet 2000, 5.)

2-luokkaan kuuluu suurin osa käytetyistä betonirakenteista. 2-luokan suunnittelun laskelmissa ei saa käyttää K40-lujuusluokan ylittäviä betoneita. Myös tässä luokassa tulee ottaa huomioon suunnittelun ja työnjohdon riittävä koulutusaste. (Uusitalo ym. 2012, 49; Betonirakenteet 2000, 5.)

3-luokan kohteet ovat yleensä pieniä, kuten esimerkiksi pientalot. 3-luokan rakenteissa ei saa käyttää yli K20-lujuusluokan betonia. Työnjohdolle tai suunnittelulle ei ole asetettu erityisiä koulutusvaatimuksia tässä luokassa. (Uusitalo ym. 2012, 49; Betonirakenteet 2000, 5.)

Vaativimpien 1- ja 2-luokkien betonin valmistuksen aikana tutkitaan sen osa-aineiden ominaisuuksia erityisen tarkasti. Runkoaineena käytettävän kiviaineksen puhtaus, rakeisuus ja kosteus tutkitaan aina ennen käyttöä, ja tarvittaessa otetaan selvää myös muiden ominaisuuksien laadusta. Suhteistusvaiheessa seossuhteet määritellään paino-osina mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi. Luokassa 3 laatuvaatimusten ollessa vähäisemmät seossuhteet ilmoitetaan tilavuusosina. Myös ainesosien mittauksen tulee tapahtua koneellisesti 1- ja 2-luokkien osalta. Näissä luokissa on myös suoritettava betonille normien edellyttämät kelpoisuuskokeet. (Uusitalo ym. 2012, 49.)

2.5 Betonimassan valmistus

Betonin valmistuksen vaiheita ovat raaka-aineiden vastaanotto, varastointi, runkoaineen ja veden lämmitys, osa-aineiden mittaaminen ja niiden annostelu, varsinaisen massan sekoitus, tarvittava notkeuden säätö sekä laadun valvonta. Edellä mainitut toiminnot ja niitä varten tarvittavat laitteet muodostavat betoniaseman. Asema voi olla suuri teolliseen tuotantoon keskittynyt betoniasema tai pieni työmaa-asema. (Honkavuori & Lampinen 2009, 291.)

Betonimassa saadaan työmaalle joko valmistamalla itse tai tilaamalla valmisbetoniasemalta. Suurin osa rakennustyömailla käytettävästä betoni-

massasta on valmisbetonia, joka valmistetaan enimmäkseen valmisbetonilaitoksissa. Valmisbetonilaitoksia on yleisesti suuremmissa asutuskeskuksissa. Valmisbetonilaitoksen etuina on etenkin sen suuruus. Sen vuoksi se pystyy toimittamaan betonimassaa monelle eri työmaille samanaikaisesti. Betonimassan koostumuksen oikea suhde on tärkeää sen laatu- ja ominaisuusvaatimusten takia. Nämä vaatimukset täyttyvät nykypäivän valmisbetonilaitoksen laitteilla ja valmistusmenetelmillä. (Uusitalo ym. 2012, 40.)

2.5.1 Valmisbetoni

Valmisbetonit valmistetaan valmisbetonilaitoksilla. Betonimassa sekoitetaan suurissa sekoittimissa, joihin raaka-aineet siirretään vaakojen kautta hihnakuljettimilla. Suhteitus toteutetaan tietokoneohjelman, jolloin betonista saadaan tasalaatuista. Ainesosien punnituksen jälkeen ne siirretään sekoittimeen. Sekoitin voi olla joko vapaapudotus-, pakko- tai tasasekoitin, joilla voidaan valmistaa betonimassaa 1,5...10 m³ kerralla. Yleisin kerralla valmistettava määrä on 5 m³. Valmismassa siirretään kuljetusautoon ja edelleen tilaajalle. (Uusitalo ym. 2012, 47–48.)

2.6 Betonimassan valinta

Betonimassan valinnalla on vaikutusta betonityön onnistumiseen ja haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseen. Suomessa valmistetaan kolmea eri betonilaatua, joita ovat ominaisuuksien mukainen betoni, koostumuksen mukainen betoni ja standardibetoni. Betonirakenteissa, jotka kuuluvat 1- ja 2-luokan rakenteisiin, saa käyttää betonia, joka on luokissa vaadittavien ominaisuuksien mukaista. Käytön edellytyksenä on myös laadunvalvonta, jonka tehtävänä on kartoittaa ominaisuuksien saavuttamista. Koostumuksen mukaista betonia valmistettaessa on noudatettava ennalta määrättyjä kilomääriä. (Honkavuori & Lampinen 2009, 301.)

Suunnitteluvaiheessa rakennussuunnittelija ilmaisee piirustuksissaan rakenteen kovettuneelta betonilta vaadittavat ominaisuudet. Näitä ominaisuuksia voivat olla muun muassa rasitusluokka ja arvioitu käyttöikä, kiviaineen maksimiraekoko sekä betonin lujuus- ja rakenneluokka; tarvittaessa suunnittelija antaa myös muita erityisohjeita. Suunnittelussa on pyrittävä välttämään myös liian monen betoniluokan ja laadun hyödyntämistä samassa rakennuskohteessa. Suunnitteluvaiheessa määriteltujen kuivuneen betonin ominaisuuksien lisäksi työmaavaiheessa määritellään tuoreen betonimassan vaadittavat ominaisuudet. Betonin notkeus (taulukko 4), maksimiraekoko ja tarvittavat lisäaineet riippuvat työmaan betonointikohteesta käytetyistä menetelmistä ja vallitsevista olosuhteista. Nämä suunnitelmat ja toteutukset eivät saa olla ristiriidassa keskenään. (Honkavuori & Lampinen 2009, 301–302.)

Taulukko 4. Betonin notkeusluokitus (mukaillen Uudet betoninormit n.d.).

Uusi notkeusluokitus: BY 50, Betoninormit 2004

Notkeus	Notkeusluokka
Nesteytetty	S4
Vetelä	S3
Notkea	S2
Jäykkä	S1

Yleensä rakenteita valettaessa käytetään normaalisti kovettuvaa rakennebetonia. Kylmistä olosuhteista aiheutuvien haittojen vuoksi voidaan joutua turvautumaan nopeasti kovettuvaan rakennebetoniin, kuumabetoniin tai pakkasbetoniin. Jäätymislujuuden saavuttaminen varmistetaan ennen ensimmäistä jäätymistä, ja tarvittaessa nopeutetaan lujuuden kehitystä. (Honkavuori & Lampinen 2009, 303.)

Laatat ovat yleensä helpompia valaa, ja myös vibraaminen eli tiivistäminen on helpompaa. Teräshierto yhdessä pienen maksimiraekoon sekä notkeiden massojen kanssa ovat lisänneet rakenteiden halkeiluerkkyyttä. Mikäli näiltä haittatekijöiltä halutaan välttyä, on syytä käyttää jäykempää massaa S1-S2 ja suurempaa raekokoa (32 mm). Notkistetun betonin käytön etuina on myös suurilta kutistuma- ja lämpötilaeroilta välttyminen massiivisen osan ja ohuen laatan välillä. (Honkavuori & Lampinen 2009, 304–305.)

2.6.1 Betonimassan valinta jälkijännitettyyn laattaan

Opinnäytetyön kohdetyömaana toimii Matinkylän metrokeskus. Työssä keskitytään erityisesti työmaan parkkihallin rakentamiseen ja sen jälkijännitettyihin rakenteisiin.

Pysäköintilaitoksia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon niiden rakenteisiin kohdistuvat erityiset kulutusta lisäävät tekijät, kuten esimerkiksi nartarenkaiden kulutus. Myös runsaasti liikennöityjen pysäköintilaitosten suunniteltu käyttöikä on arviolta enintään 10...20 vuotta. Kulutuksen huomioon ottaen tulee runsaasti liikennöidyissä pysäköintilaitoksissa varautua esimerkiksi 20 mm:n kulutusvaralla niin, että kulutusvara on vähintään 10 mm. Korjausväliä voidaan pidentää käyttämällä kovabetonia ja sirotepin-tausta. Jo suunnittelu- ja rakennusvaiheessa tulee laatia korjaus- ja ylläpi-tosuunnitelma. (Betonilattiat 2014, 166)

Jälkihoidon tärkeys nousee esiin kulutuskestävyyden saavuttamista tarkas-teltaessa. Myös valuolosuhteilla on merkitystä kulutuskestävyyteen, sillä huonoissa valuolosuhteissa on vaikeaa saada kulutuskestävyydsuokaltaan 3:ttä parempaa luokkaa. Myös ajoissa aloitettu jälkihoito mahdollistaa oi-keaan aikaan aloitettavan hierron. Varsinaisen jälkihoidon tarkoituksena on tarjota sopivat kovettumisolosuhteet, ja jälkihoito voidaan lopettaa, kun saavutetaan 80% suunnitellusta lujuudesta luokissa 1...3. Hyviä jälkihoito-

tapoja ovat esimerkiksi betonipinnan kastelu ja suojaus muovikalvolla tai suodatinkankaalla. (Betonilattiat 2014, 166.)

Pysäköintikansilla, joissa lähinnä ajetaan pysäköintiruutuihin ja niistä pois hiljaisilla nopeuksilla, voidaan kulutuskestävyysluokaksi valita 3. Pysäköintirakennusten sisäänajorampeilla on pysäköintikansia suurempi kulutus. Nastarengaskulutuksesta ja vilkkaasta liikenteestä johtuen voidaan sisään- ja ulosajokohtiin valita kulutuskestävyysluokaksi 2. (Aho, Hyttinen, Hänninen, Rydenfelt, Tolonen & Vuorinen n.d.)

Kohteen jälkijännitetyissä pysäköintilaitoksissa voidaan siis käyttää lujuusluokaltaan C35/45 (K45) olevaa, nopeasti kovettuvaa betonia, jonka maksimiraekoko on palkeissa 16 mm ja laatussa 32 mm. Jälkijännitetyt rakenteet ovat rakenneluokan 1 rakenteita. Rasitusluokkayhdistelmänä on hyvä käyttää esimerkiksi kansissa XC3, 4 XD1 ja XF2. Kulutuskestävyys kansilla on C-3-45 ja rampeilla sekä ajotasoilla C-2-45.

2.7 Jälkihoidon merkitys

Betonin jälkihoidon merkityksenä on taata betonille hyvät olosuhteet. Hyvät olosuhteet saavuttamalla saadaan betonille suunniteltu loppulujuus ja sille asetetut ominaisuusvaatimukset. Betonirakenteen jälkihoitotoimenpiteet riippuvat sen koosta ja muodosta, betonin laadusta ja työmaan olosuhteista. Yleisesti luullaan, että betonin kutistuminen riippuisi jälkihoidon pituudesta, mutta ne ovat kuitenkin riippumattomia toisistaan. Kun betonimassasta haihtuu vettä, betoni kutistuu. Tätä kutsutaan kuivumiskutistumiseksi, ja se tapahtuu jälkihoidon lopettamisen jälkeen. Jälkihoidon pituudella voidaan parantaa esimerkiksi laattarakenteen edellytyksiä ottaa vastaan kutistumisesta aiheutuvia jännityksiä. (Honkavuori & Lampinen 2009, 331; Jälkihoito n.d.)

2.7.1 Jälkihoidon tarve ja merkitys

Betonin raaka-aineiden oikea mitoitus, betonointi ja tiivistys eivät takaa betonoinnin onnistumista eivätkä betonoinnille asetettuja laatutavoitteita. Jälkihoidon työn tarkoituksena on suojata betonirakenteet sateelta, tuulelta, auringonpaisteelta, virtaavalta vedeltä ja kylmältä lämpötilalta sekä muilta haitallisilta vaikutuksilta. Jälkihoidon riittävä ja oikea ajoitus on avain betonoinnin onnistumiselle. Betonin kovettumisen edellytyksenä on sementin hydrataatio. Betonimassan täydelliseen hydratoitumisreaktioon tarvitaan riittävästi vettä. Vaikka betonimassassa on ylimääräistä vettä, on veden haihtuminen silti estettävä, jotta lujuudenkehitys saadaan jatkumaan riittävän kauan. Betonin ominaisuutena on veden haihtuminen ja tällöin betonirakenteen kutistuminen, joka johtaa betonirakenteen halkeiluun, jos betonimassa on sisältänyt runsaasti vettä. Betonimassan veden haihtuminen johtuu usein tuulesta, ilman ja betonin lämpötilaeroista sekä ilman suhteellisesta kosteudesta. (Uusitalo ym. 2012, 150–151.)

Massan kovettuminen pysähtyy kokonaan, jos lämpötila laskee alle nollan celsiusasteen. Toisinaan betonin loppulujuus laskee, jos olosuhteen lämpö-

tila on liian korkea. Haasteita jälkihoidolle asettaa luonnostaan betonin kuiva tuore valupinta, kuivumista tehostava tuuletus tai alhainen ilman suhteellinen kosteus. Jos ilmaa lämmitetään talvella, se saattaa olla betonimassaa kuivaava tekijä. Luonnostaan lämmintä ja kuivaavaa ilmaa voi olla kesäisin. (Uusitalo ym. 2012, 151.)

2.7.2 Suojaaminen

Betonimassan ulkoisia haittavaikutuksia voidaan estää suojaamalla betonirakenne. Betonirakenteen suojaamisella saadaan myös estettyä veden haihtumista. Suojaamiseen käytetään yleisesti muottia, muovikalvoa, ruiskutettavia jälkihoitoaineita tai mineraalivillamattoja, jotka on päällystetty muovikalvoilla. Talviolosuhteissa rakenne on syytä lämpösuojata käyttämällä lämpöeristettyjä muotteja tai mattoja. Esimerkiksi muovikalvo estää sadetta huuhtomasta kovettuvasta betonimassasta sementtiä tai tuulen ja aurin gonpaisteen haihduttamasta vettä betonimassasta. Rakenteen pintaosissa suojaamatta jääneet betonirakenteet halkeilevat veden haihtuessa siitä ja tämän seurauksena lujuudenkasvu pysähtyy. (Honkavuori & Lampinen 2009, 332.)

2.7.3 Kosteana pitäminen

Betonin kovettumisreaktion edellytyksenä on betonipeitteen kosteana pitäminen. Kosteana pitämisen tarkoituksena on, että betoni saavuttaa halutun lujuuden ja tiiviyn. Tällä tavoin voidaan estää betonin kutistumishalkeilua. Betonipeitteen muovikalvosuojauksella estetään liiallisen vesimäärän haihtuminen. Vaihtoehtona muovikalvolle on esimerkiksi ruiskutettava jälkihoitoaine, jolla saavutetaan sama hyöty. Veden määrää betonissa voidaan säädellä myös betonimassan kastelulla. Betonin jälkihoito aloitetaan mahdollisimman pian, kun valettu rakenne antaa myöten. Jälkihoito tehdään joko peittämällä tai kastelemalla betonirakenne. Betonirakenteen kosteana pito jatkuu 1–2 viikkoa valusta. (Honkavuori & Lampinen 2009, 332.)

2.7.4 Kovettumislämpötilasta huolehtiminen

Liian alhaisessa lämpötilassa betonin lujuuskehityksen jatkuminen voi vaarantua. Talvibetonoinnissa lämmönsuojauksesta huolehtiminen on erityisen tärkeää. Kovettuva rakenne on suojattava joko lämpöeristyksillä tai lämmityksellä. Lisäksi lämpötiloja ja lujuuskehitystä on seurattava. Mikäli betonointi tapahtuu kesällä, voi kovettuvan rakenteen lämpötila nousta liiankin korkeaksi. Tällöin syntyy lujuuskatkoa, jolloin on varauduttava betonin jäähtymykseen. Tämä on myös mahdollista massiivisten rakenteiden betonoinnissa. (Honkavuori & Lampinen 2009, 332.)

3 RAUDOITUS JA JÄLKIJÄNNITYS

Käytettäviä raudoitteita ei saa käsitellä siten, että niihin syntyisi pysyviä muodonmuutoksia. Varastointi on tehtävä niin, että raudoitteet eivät joudu syövyttävien aineiden kanssa kosketuksiin tai muiden aineiden vaikutusten alaisiksi. Rakenteissa käytettävä raudoitus ei saa olla liian ruostunut, sillä liika ruosteisuus vaikuttaa alentavasti raudan lujuus- ja tartuntaominaisuuksiin. (Betoninormit 2012, 118.)

Jännitetyissä betonirakenteissa on tarkoituksena saada betonirakenne kestämään paremmin vetoa. Betoniin luodaan keinoitekoinen jännitystila, jonka avulla rakenne kestää paremmin siihen kohdistuvia rasituksia. Betonirakenteen jännittämiseen käytetään yleensä jänneterästä raudoituksen perusmateriaalina. Jännitetyissä rakenteissa betonin nimellislajuuden täytyy olla vähintään C25/30 (K30). Betonin jännittämiseksi on kaksi eri tapaa: esijännittäminen eli tartuntajännerakenne ja jälkijännittäminen eli ankkurijännebetonirakenne. Tartuntajännebetonissa jänteet jännitetään jo ennen betonin valua valualustalla tai muotissa ja ankkuroidaan kiinnityslaitteisiin alustan päissä. Ankkurijännebetonissa valuvaiheessa betoniin varataan suoja-putkien avulla kanavat jänteitä varten tai käytetään suoraan valuun asennettavia tartunnattomia jänteitä. Tässä opinnäytetyössä tullaan keskittymään ankkurijännebetoniin ja etenkin tartunnattomaan jänteeseen eli rasvapunokseen. (Ruohomäki ym. 1990, 142; Honkavuori & Lampinen 2009, 549–550; Betoninormit 2012, 84; Saarinen, Kinnunen & Tiira 1986, 612.)

3.1 Teräsbetonin ja raudoituksen periaate

Teräsbetonirakenteen ideana on siirtää veto- ja leikkausjännitykset terästangoille jättäen betonille puristusjännitys. Kokonaisuuden toimiminen perustuu betonin ja raudoituksen yhteistoimintaan. Perusideana on, että tukevaa raudoitusta laitetaan sellaisiin osiin rakennetta, jossa arvot ylittävät betonin vetolujuuden. (Ruohomäki, Jormalainen, Pärssinen, Saarikivi & Söderholm 1990, 10.)

Raudoitusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon rakenteen kestävyys. Rakennesuunnittelijan täytyy hyväksyttää raudoituspiirustukset rakennustarkastajalla. Raudoitus tehdään rakennesuunnittelijan osoittamalla tavalla. Ennen valua rakennustarkastaja tai rakennesuunnittelija käy tarkastamassa raudoitukset ja merkitsee raudoituspiirustukseen virallisen hyväksymismerkintänsä. Mikäli raudoituksessa havaitaan jonkin asteen virhe, ei betonointia voida aloittaa, vaan raudoitus täytyy korjata ennen betonointia. Kuten muissakin töissä, raudoituksessakin tulee noudattaa taloudellisia periaatteita eli hukkapalojen määrä täytyisi saada niin pieneksi kuin mahdollista. Hyvin suunniteltu työjärjestys vähentää nostojen määrää ja parantaa raudoitustyön sujuvuutta. (Ruohomäki ym. 1990, 13.)

3.1.1 Teräslaadut

Betonirakenteissa betoni ja raudoitus toimivat keskenään, jos betonimassa ympäröi raudoituksen tiiviisti. Alla olevassa taulukossa on tuotu esille teräslaadut ja niiden standardimerkinnot.

Taulukko 5. Teräslaadut ja standardit (mukaillen Ruohomäki ym. 1990, 12–13).

Teräslaadut	Tunnus	Käyttökohteita	Betoniterästen standardimerkinnot		
Sileä tanko	Fe37B	Hakoina, elementtien nostolenkinä	500	=	myötöraja
			A	=	kuumana valssattu tanko
Harjatanko	A500H ja A500HW	Pilarit, palkit, seinät, laatat	B	=	kylmämuokattu tanko
			H	=	harjatanko
Lujat tangot	A600H ja B700K	Palkit, arinalaatat, teräsbetonipaalu, pankkiholvit	K	=	kuviopintainen tanko
			V	=	betoniteräsverkko
Teräsverkko	V, usein käytössä B500K tai A500HW	Laatat, seinät, palkkihaat, elementit	W	=	hitsattava laatu
			X	=	vahvatartuntainen harjatanko

Tankonipuissa olevista SFS-tunnuslapuista voidaan tarkistaa raudoitustankojen laatu, joita työmaalla tullaan käyttämään. (Ruohomäki ym. 1990, 13.)

3.2 Hitsaustyöt

Raudoitustyön hitsaukset tehdään hitsaamalla siten, että hitsit ja hitsatut tangot saavuttavat sille asetetun lujuuden. Hitsausmenetelmissä täytyy ottaa huomioon, että raudoituksiin kohdistuu hitsauksesta johtuvia ominaisuusvaikutuksia. Hitsiliitokset saa tehdä koulutuksen saanut ammattihenkilö. Onnistumisen edellytykset on varmistettava ennen työn aloitusta. Hitsattavat kohdat on suojattava tuulelta ja kosteudelta. Jos raudan lämpötila on alle -10 celsiusastetta, on käytettävä esikuumennusta. Mikäli hitsauskohta on taivutusalueessa, pitää piirustuksissa olla merkittynä raudan käytettävä taivutussäde. Taivutussäteen ollessa alle 50Ø tulee hitsaus- ja erikoisjatkosten taivutuskaaren etäisyyden olla vähintään 10Ø taivutuskaaren alueesta. (Betoninormit 2012, 122.)

3.3 Raudoituksen betonipeite ja tuenta

Suunnitelmissa tulee ottaa huomioon aina käytettävä työraudoitus. Alla olevassa taulukossa on esitetty vähimmäisarvot betonipeitteelle, jotka suojaavat työraudoituksia. Jos valu tapahtuu maata vasten tai vedenalaisissa olosuhteissa, on betonipeitteen paksuuden oltava vähintään 50 mm. Betonipeitteen suojaavat ominaisuudet huonontuvat, jos betonin jälkihoidtoa laiminlyödään. Betonin jälkihoidotta jättämisen seurauksena voi tyypillisesti syntyä halkeilua ja betonin hyvätkin ominaisuudet voivat hävitä. Välikkeiden tai työraudoituksen avulla raudoitustangot sidotaan ja tuetaan muotteihin. Sidonnan ja tuennan täytyy tapahtua tarpeeksi tiheästi, jotta suojaetäisyydet toteutuvat ja säilyvät betonoinnin aikana. (Betoninormit 2012, 119.)

Taulukko 6. Betonipeitteen vähimmäisarvot (Betoninormit 2012, 75).

Rasitusluokka	Betonipeitteen vähimmäisarvo 50 vuoden käyttöiälle (mm)		Betonipeitteen vähimmäisarvo 100 vuoden käyttöiälle (mm)	
	Betoniraudoitus	Korroosioherkkä raudoitus	Betoniraudoitus	Korroosioherkkä raudoitus
X0	10	10	10	10
XC1	10	20	10	20
XC2	20	30	25	35
XC3, XC4	25	35	30	40
XS1, XD1	30	40	35	45
XS2, XD2	35	45	40	50
XS3, XD3	40	50	45	55

3.4 Työmaajärjestelyt

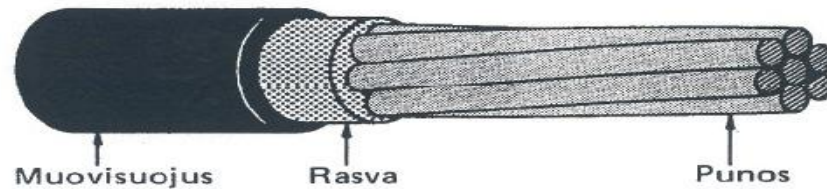
Työmaaraudoittamon tarkoituksena on taata työn sujuva eteneminen. Raudoittamon lisäksi työmaalle on suotavaa rakentaa myös varastointipaikat raudoitustangoille. Raudoittamoa suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon sen kattaminen ja suunnitella etukäteen kaaviokuva, josta ilmenee tankokokojen paikat varastossa. Raudoittamon kattamisella ja tankojen huolellisella säilyttämisellä vältetään tankojen ruostumiselta ja likaantumiselta, jotka voivat estää betonin ja tankojen välisen tartunnan. Oikein säilytettyinä tankoihin ei kohdistu ylimääräisiä haittakuormituksia, jotka voivat johtaa tankojen taipumiseen. Lisäksi työraudoituksen menekkiä voidaan seurata helpommin, kun työraudoitukset ovat siisteissä nipuissa ja järjestyksessä. (Ruohomäki ym. 1990, 57.)

3.5 Laatat

Vaakarakenteisiin kuuluvat palkit ja laatat. Raudoitukset sijoitetaan lähelle laatan alapintaa eli laatan vetopuolelle, joka toimii palkkiraudoituksen tavoin. Vaakarakenteita raudoitettaessa tulee ottaa huomioon erityisesti raudoitteiden mittatarkkuus, raudoitteiden oikea kiinnitys muottipintaan ja asennuksen tarkkuus. On myös tärkeää hoitaa raudoituksen esivalmistelut huolella muottikierron nopeuttamiseksi. (Ruohomäki ym. 1990, 90; Honkavuori & Lampinen 2009, 248.)

3.6 Jälkijännittäminen

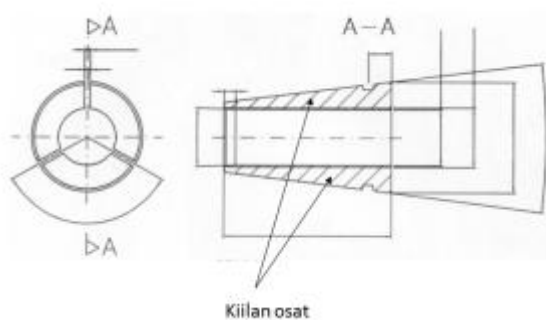
Yksi ankkurijännebetonoinnin muodoista on tartunnaton jänne eli niin sanottu rasvajänne. Tartunnattomat jänteet ovat ympäröity rasvakerroksella ja suojattu muoviputkella (kuva 2). Punosta suojaava rasva pysyy plastisessa muodossa. Rasvakerroksen tehtävänä on suojata jänteitä korroosiolta. Jännittäminen on mahdollista rasvakerroksen pienen kitkan ansiosta. Valuvaiheessa jänteet asennetaan suoraan valuun ilman erillisiä suojaputkia. Betonin kuivuttua tarpeeksi valussa asennetut jänteet jännitetään ja lukitaan ankkurin kiilapesään kartiokiiloilla (kuvat 3 ja 4). Betonin tulee myös saavuttaa vähimmäislujuus ennen jännitystöiden aloittamista. Vähimmäislujuus betonille täytyy silloin olla 25MPa. (Honkavuori & Lampinen 2009, 551; Jännemenetelmän käyttöseloste 2006, 3 ja 5.)



Kuva 2. Tartunnaton jännepunos (Honkavuori & Lampinen 2009, 553).

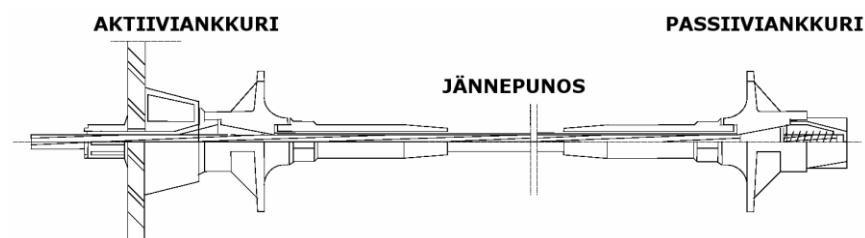


Kuva 3. Punoksen kartiokiila.



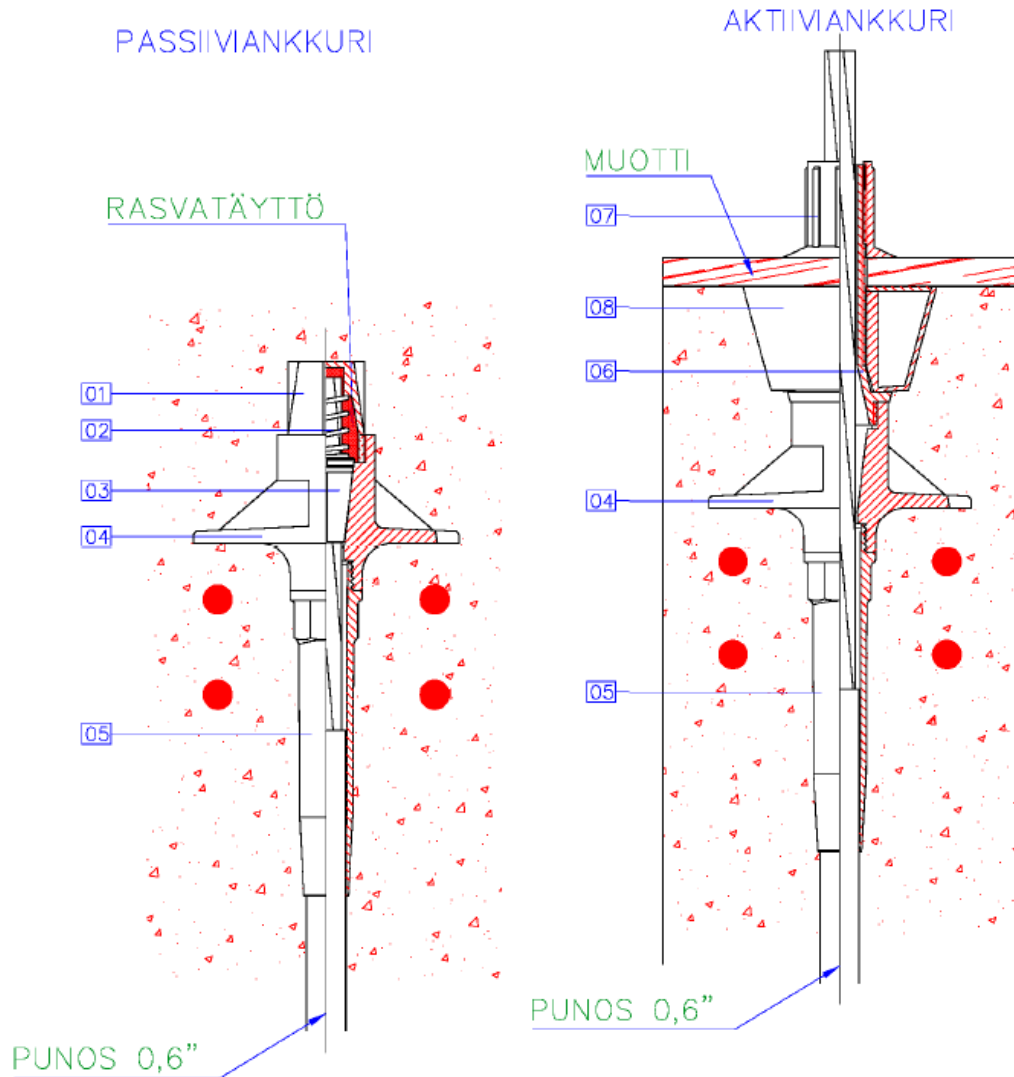
Kuva 4. Kartiokiila (Jännemenetelmän käyttöseloste 2006, 8).

Betonirakenteessa oleva jänneteräs kykenee liittymään ympäröivään rakenteeseen ilman tartuntaa. Pääteankkureiden välityksellä jännevoima siirtyy rakenteeseen. Tartunnattoman jänteen toimintaperiaate on kuvattuna kuvassa 5. Aktiiviankkurin tehtävänä on toimia kiinnikkeenä, jota vasten punokset jännitetään. Vastakkaisen pään ankkuri on kiinteä ja sitä kutsutaan passiiviankkuriksi. (Jännemenetelmän käyttöseloste 2006, 3.)



Kuva 5. Tartunnattoman jänteen periaatepiirros (Jännemenetelmän käyttöseloste 2006, 3).

Ankkurikappaleen osat	
1	Kierrekansi
2	Lukitusjousi
3	Lukituskiila
4	Ankkurirunko
5	Liitosputki
6	Asennuskara
7	Asennusmutteri
8	Ankkurivarausmuotti

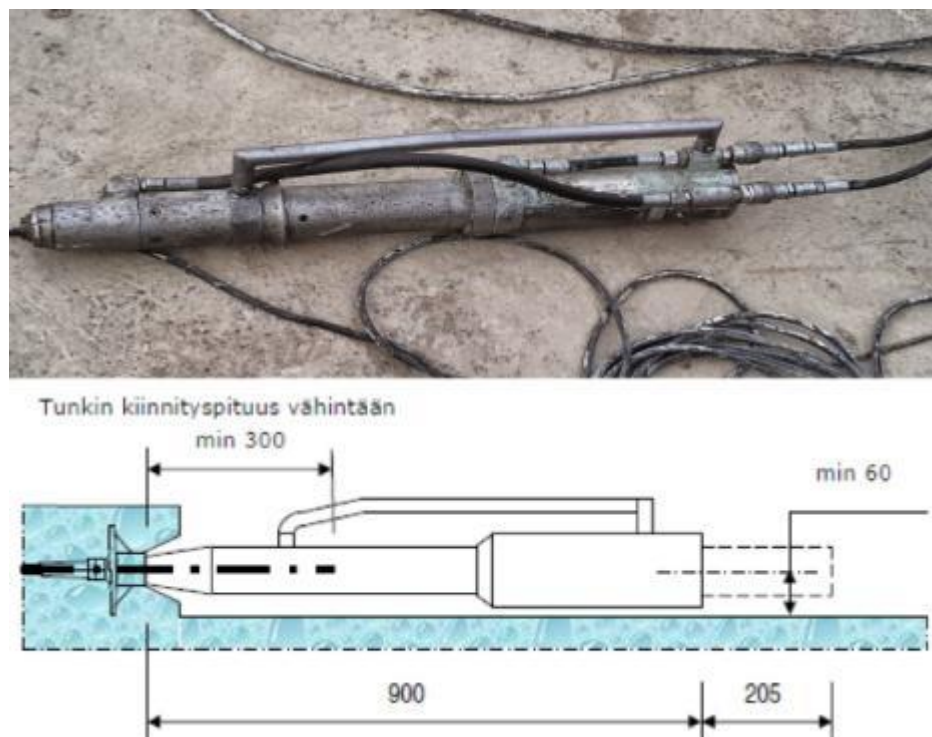


Kuva 6. Passiivi- ja aktiiviankkurin osat ja rakenne (Jännemenetelmän käyttöseloste 2006, 9).

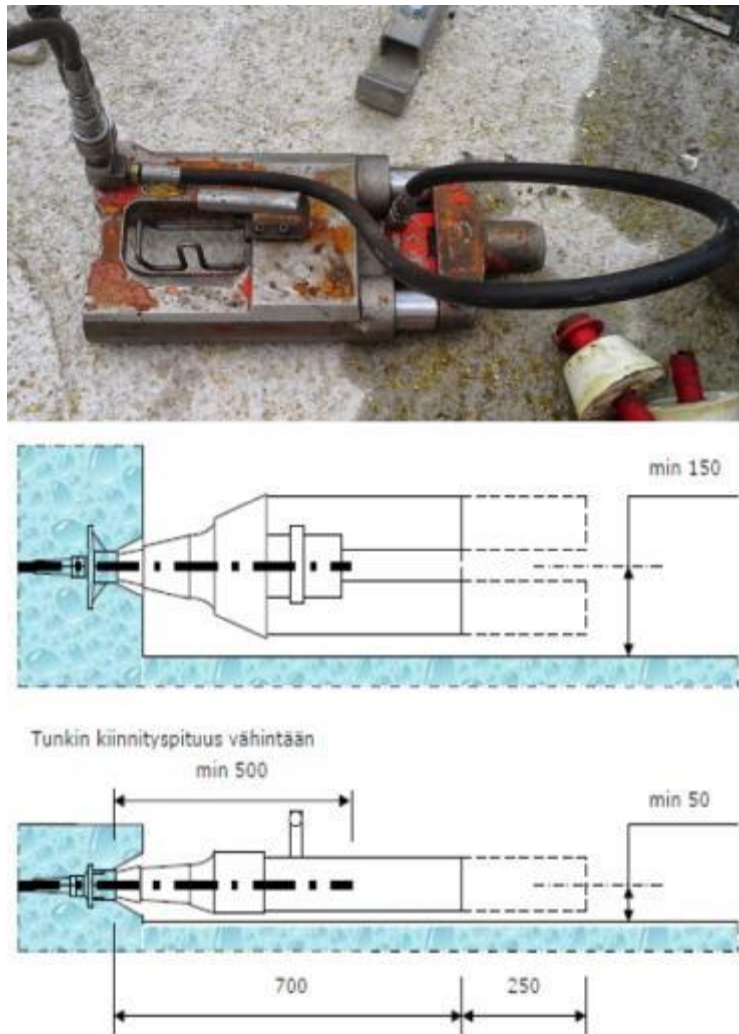
3.6.1 Jännityslaitteet

Hydraulinen tunkki on tavallisesti osa työmaiden jännityskalustoa. Hydraulisen tunkin paine luodaan korkeapainepumpulla. Useimmissa tapauksissa hydraulinen tunkki on suunniteltu tietylle jännemenetelmälle, jolloin sillä voidaan myös lukita kiila-ankkurit. Kiila-ankkureiden lukitustyökalut voivat olla myös erillisiä työkaluja. Osana jännityskalustoa ovat myös mitauslaitteet, joilla voima ja venymät mitataan. Voimaa voidaan mitata dynamometrillä ja venymiä esimerkiksi mittatikulla tai rullamitalla. Jänneteräksen käyttöselosteen mukaisesti voidaan laskea punosten venymiä. Mikäli laskettuja venymiä ei saavuteta, on syy selvitettävä ja laadittava uusi jännityssuunnitelma. Syynä tähän voi olla esimerkiksi punosten ruosteisuus, josta syntyy punoksiin liian suuri kitka. (Honkavuori & Lampinen 2009, 556.)

Punosten jännittämiseen voidaan käyttää ainoastaan kalibroitua kalustoa. Tarpeen tullen laitteisto tulee kalibroida uudestaan; se on kalibroitava vähintään vuoden välein. Työn tilaajan valvojalle tulee toimittaa kalibrointitodistus jännitystyöstä tehtävien asiakirjojen mukana. Jännityslaitteiston tulee olla kalibroitu siten, että on mahdollista tuntea tarkoin tunkin antama vetovoima. Tätä varten täytyy olla tiedossa myös tunkin sylinterin tehollinen ala. Myös painemittari tulee olla tarkastettu. Alla olevissa kuvissa on esitetty kohdetyömaalla käytettävää jännityskalustoa (kuvat 7, 8 ja 9). (Jännemenetelmän käyttöseloste 2006, 5.)



Kuva 7. Putkitunkki (Alempi kuva: Jännemenetelmän käyttöseloste 2006, 13).



Kuva 8. Kaksoissylinteritunkki (Alempi kuva: Jännemenetelmän käyttöseloste 2006, 13).



Kuva 9. Nestepumppu.

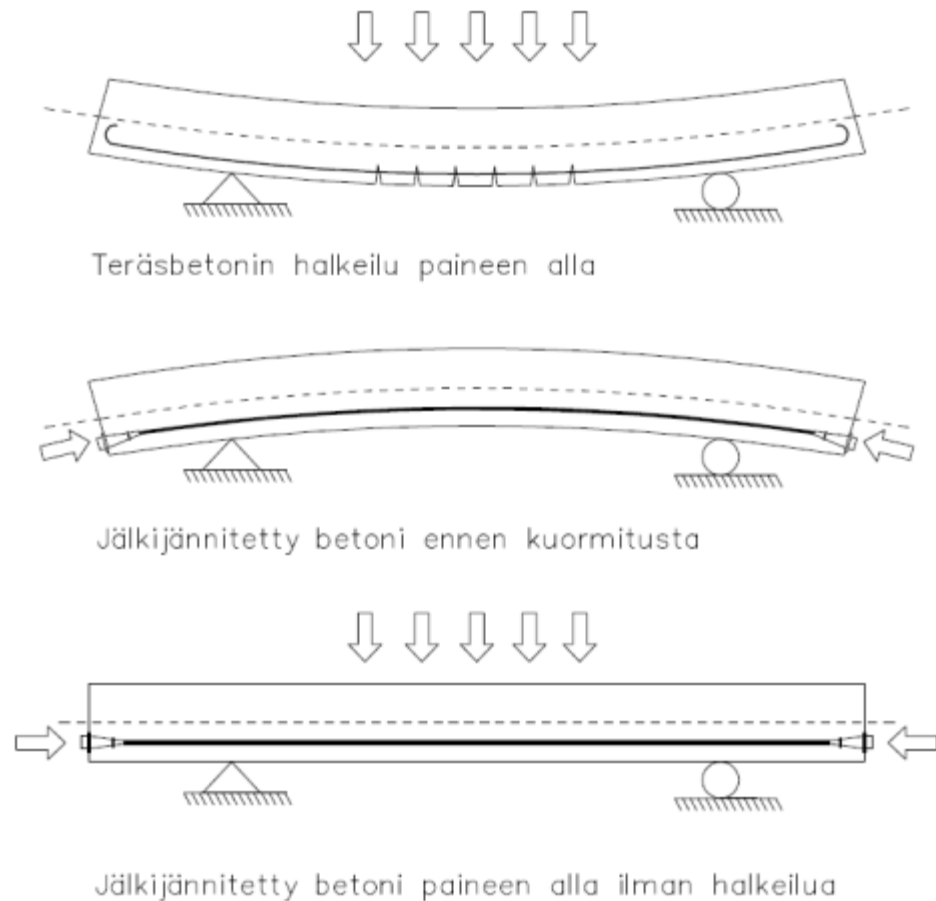
3.7 Jänneteräkset

Tärkeimpiä jänneteräkselle asetettuja vaatimuksia on sen suuri vetolujuus. Teräksen kimmokertoimen ollessa likimain vakio saadaan korkealujuuksilla teräksillä suuret venymät. Tässä tapauksessa raudoituksen jännityksestä on jäljellä suurempi osa myös betonin kutistumisen ja viruman jälkeen. Virumalla tarkoitetaan betonin puristuman ajasta riippuvaa kasvua puristusjännityksen pysyessä vakiona. Jänneteräkset ovat tyypiltään kylmämuokattuja tai nuorrutettuja teräksiä. Yleisimmin käytetyt lujuusluokat ovat 1570/1770 N/mm² ja 1630/1860 N/mm². Ensimmäisellä luvulla osoitetaan teräksen myötöraja ja jälkimmäisellä luvulla murtolujuus. (Taipuma n.d; Honkavuori & Lampinen 2009, 552.)

Jälkijännitykseen käytettävät vaijerit kootaan useista punoksista ja punokset useista yksittäisistä langoista. Vaijereiden valmistajat tai maahantuojaat ovat osaltaan vastuussa laadunvalvonnasta. Lisäksi jokaisella tuotteella tulee olla käyttöseloste, jonka tehtävänä on selvittää kunkin tuotteen ominaisuudet ja käyttöön liittyvät seikat. Jänteiden varastoinnissa on otettava huomioon niiden korroosioherkkyys ja suojata ne kastumiselta. Muita vahingollisia aineita jänteille ovat kloridit, nitraatit, jotkin hapot ja alumiini. Myös mekaanisia vaurioita voi esiintyä jänteissä. Tällaisia ovat haitalliset valmistusviat, esimerkiksi lovet ja valssausviat. Punostyömiehet ovat osaltaan vastuullisia tarkistamaan punosten kunnon silmämääräisesti. Mikäli jänteessä huomataan virhe, puute tai vaurio, ei sitä tule käyttää jännittämisessä. (Honkavuori & Lampinen 2009, 553.)

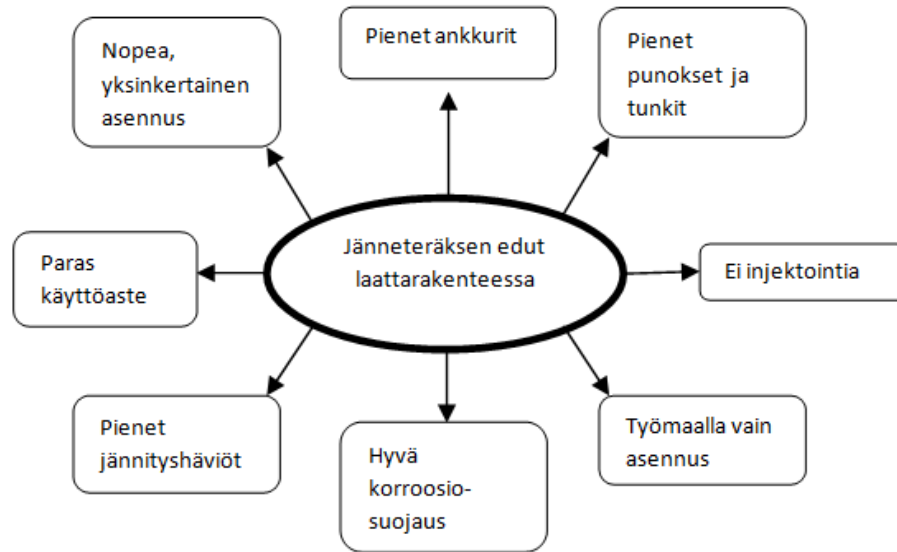
3.8 Jännitettyjen betonirakenteiden edut ja käyttökohteet

Betonirakenteiden jännittäminen antaa mahdollisuuden säästöihin rakennusmateriaalikuluisia. Verrattuna tavalliseen teräsbetonirakenteeseen voidaan betonimenekissä säästää 15–30 %; teräsmenekki on 60–80 % pienempi. Tärkeimpiä jälkijännittämisen etuja tavalliseen teräsbetonilaattaan verrattuna on muun muassa parempi korroosiosuoja. Harjaterästen ollessa hyvin korroosiosuojatut saavutetaan pidempi käyttöikä. Myös huollon ja korjausten tarve vähenee, mikä heijastuu edullisempina käyttökustannuksina. Hyvä korroosiosuoja vähentää myös halkeamien syntyä, ja mahdolliset halkeamat ovat myös pienempiä. Yleisesti ottaen muodonmuutokset jännitettyssä rakenteessa ovat pienempiä kuin jännittämättömässä rakenteessa. Verrattuna teräsbetonipalkin taipumaan jännitetyn palkin taipuma on siitä vain noin 25 %. Lisäksi jännitetyn rakenteen muodonmuutokset palautuvat hyvin, sillä rakenne on sitkeä. Esimerkiksi hetkellisestä ylikuormasta johtuvat halkeamat sulkeutuvat kuorman vähentyessä (kuva 10). Lisäksi jännitettyillä rakenteilla on hyvä kestävyys väsytskuormia vastaan, ja jännittämällä päästään pitkiin jänneväleihin ja ohuisiin rakenteisiin. (Honkavuori & Lampinen 2009, 557; Paikallavalettu jälkijännitetty pysäköintirakennus 2005, 3.)



Kuva 10. Jälkijännitetyn rakenteen vertailu betoniraidoitukseen (mukaillen Prestressed concrete n.d; Kurvinen 2014).

Mikäli laattarakenne jännitetään tartunnattomilla jänneteräksillä, ovat sen hyviä etuja muun muassa nopea ja yksinkertainen asennus. Tartunnaton jänneteräs sisältää itsessään suojaputken ja se voidaan asentaa helposti ennen valua, eikä täten erillisiä suojaputkia tarvitse asentaa. Tartunnattomia jänneteräksiä ei tarvitse erikseen injektoida, sillä jänneteräksen suojaputket sisältävät itsessään plastisessa muodossa olevaa kitkaa vähentävää rasvaa. Lisäksi pienemmät ankkurit ovat mukavampia ja helpompia asentaa, ja pienemmät punokset on helpompi jännittää pienemmillä tunkeilla. Punokset esivalmistellaan ja varustellaan jo tehtaalla, jolloin työmaalla tapahtuu vain asennus, mikä nopeuttaa osaltaan jännitystyötä. Tartunnaton jänne on myös itsessään hyvin korroosiosuojattu, jolloin korroosion aiheuttamat haittatekijät ovat vähäisempiä. Alla olevassa kuvassa (kuva 11) on esitetty tartunnattoman jänneteräksen käytön etuja laattarakenteessa. (Paikallavalettu jälkijännitetty pysäköintirakennus 2005, 3.)



Kuva 11. Edut laattarakenteen toteuttamisesta tartunnattomilla jänneteräksillä (Paikallavalettu jälkijännitetty pysäköintirakennus 2005, 3).

4 BETONIMUOTTI

Muotit voidaan jaotella monin eri perustein, esimerkiksi muottimateriaalin, muottiyksikön koon, käyttökertojen lukumäärän tai tukisuunnan mukaan. Muotin perusosien tehtävä on vastaanottaa kuormitukset, jotka kohdistuvat muottiin ja siirtää kuormat alla oleviin rakenteisiin. (Honkavuori & Lampinen 2009, 221.)

4.1 Materiaalit ja tukirakenteet

Muotin tukisuunta vaikuttaa eniten muottirakenteiden tarkasteluun. Muottirakenteet ovat erilaisia pysty- ja vaakamuottirakenteissa. Pystyrakenteet tukevat betonimassaa sivuilta, kun taas vaakamuotti tukee sitä alta. Muotteja valmistettaessa tulee ottaa huomioon muottirakenteiden tiiviys. Muottirakenne tulee olla tiivis, jotta betonin hieno-osat tai vesi eivät pääse valumaan muottien välistä muuttaen siten betonimassan koostumusta. Vaikka muottien mitoitus, muotoilu, rakenne ja erityispiirteet riippuvat valitusta muottijärjestelmästä, on kaikille muoteille yhteistä sen perusosat ja samankaltaiset perusominaisuudet. Perusosat vastaanottavat kuormitukset ja siirtävät ne alla oleville rakenteille. Tarpeen mukaan muotteihin voidaan lisätä lisäosia ja muita varusteita; tällaisia ovat esimerkiksi siirtolaitteet vaakamuoteille, lämmityslaitteet ja lämmöneristys. (Betoninormit 2013, 117; Honkavuori & Lampinen 2009, 211.)

Puu, puulevy, teräs, muovi, alumiini ja lasikuitu ovat tärkeimpiä muottimateriaaleja. Puuta voidaan käyttää muottipintana tai tukirakenteena, ja se on vanha muottimateriaali. Muotinpintamateriaalina käytetään eniten puulevyjä kuten vaneria. Yleisimpiä vanerilaatuja ovat filmi- sekä koivu-vaneri. Vanerin pintaa voidaan öljytä käyttöänsä maksimoimiseksi. (Honkavuori & Lampinen 2009, 212–213.)

4.2 Vaakarakenteiden muotit

Vaakarakenteisia muotteja ovat puupalkkimuotit, pöytä-, kasetti- ja palkkimuotit. Kasettimuotti kootaan määrämittaisista kaseteista, ja ne soveltuvat parhaiten mataliin tuentoihin, suoriin laattoihin tai suorakaiteen muotoisiin tiloihin. Palkkimuotit voidaan valaa samanaikaisesti holvin kanssa, ja ne tuetaan pystytuilla palkin pohjasta. Opinnäytetyön kohdetyömaalla Matinkylän metrokeskuksessa käytettiin puupalkkimuottia, kenttäpöytämuottia ja pöytämuotteja. (Muottijärjestelmät n.d.)

Puupalkkimuotti on yleisimmin vaakarakenteissa käytetty muotti. Se soveltuu monimuotoisiin tiloihin, joiden tekemiseen tarvitaan erimuotoisia ja erikokoisia muotteja. Lisäksi puupalkkimuotilla voidaan helposti vaihtaa laattavahvuuksia. Muottimateriaaleja voidaan käyttää useampaan kertaan, mutta itse muotti on kertakäyttöinen, sillä purkuvaiheessa se puretaan osiin. Tästä syystä puupalkkimuotti on työvoimavaltaisempi verrattuna muihin muotteihin. Niskapalkit tuetaan holvituilla ja tukitorneilla ja limitetään jatkoskohdistaan. Koolauspalkit asennetaan niskapalkin päälle ja limitetään myös jatkoskohdista. Lopuksi muotti levytetään ja vaadittavat lisätuet asennetaan. (Muottijärjestelmät n.d.)

Pöytämuotti eli palkkipöytä on vakio-osista koottava kohdekohtainen muotti (kuva 12). Se voidaan valmistaa halutun muotoiseksi, ja sitä voidaan käyttää toistuvissa rakenteissa uudestaan. Pöytämuotin etuina ovat muottikierron nopeutuminen ja asennustyön vähäisyys. Niiden käytön edellytyksenä ovat toistuvat käyttökerrat ja huolellinen muottisuunnittelu. (Muottijärjestelmät n.d.)

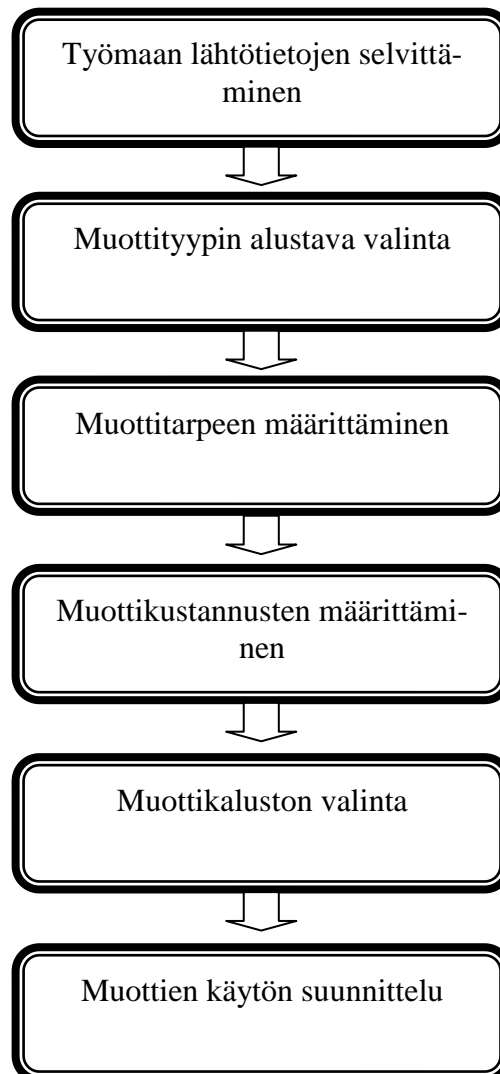


Kuva 12. Pöytämuotti.

Kenttäpöydät ovat pöytämuottien tavoin vakio-osista koottu kohdekohtainen muotti. Kenttäpöytä on tasainen muottialusta ilman palkin reunatukia. Kenttäpöytiä voidaan joko vuokrata tai tehdä itse valmiiksi tiettyyn kokoon. Kenttäpöydät on helppo asentaa, koska valmiit pöydät nostetaan torninosturilla pöytämuottien ja tukitornin niskapalkkien päälle.

4.3 Muottityösuunnittelu ja muottijärjestelmän valinta

Muottisuunnitelman tarkoituksena on laatia suunnitelma muottien käytöstä ja muottikierrosta. Muottikierto tulee suunnitella työmaan olosuhteiden ja aikataulun mukaisesti. Muottisuunnitelma olisi hyvä kytkeä osaksi työmaan kone- ja kalustosuunnitelmaa. Tällä tavoitellaan oikean muottikaluston valintaa siten, että muottikaluston määrä ja kustannukset pysyvät taloudellisina. Tavoitteena on myös edistää työn etenemistä aikataulun mukaisesti ja täyttää kohteelle asetetut laatuvaatimukset. Alla olevassa kuvassa (kuva 13) on esitetty muottijärjestelmän valinnan vaiheet. (Muottisuunnittelu n.d; Honkavuori & Lampinen 2009, 233, 235.)



Kuva 13. Muottijärjestelmän valinnan vaiheet (mukaillen Honkavuori & Lampinen 2009, 235).

Työmaan lähtötietojen selvittäminen on edellytyksenä valintaprosessin onnistumiselle. Suunnitteluvaiheessa selvitetään tiedot muun muassa laatuvaatimuksista, paikallavalumääristä, aikataulusta, tekojärjestyksestä ja työsaumoista. Resursseja selvitettäessä kartoitetaan työmaan nosturikapasiteetti muottikaluston mahdollisten siirtojen varalta. (Honkavuori & Lampinen 2009, 235.)

Muottikaluston alustavan valinnan tehtävänä on kartoittaa työmaan muottikaluston tekninen soveltuvuus. *Muottitarpeen määrityksen* osana selvitetään muottikaluston kierto, ja runkoaikataulun ja välitavoitteiden perusteella arvioidaan ja lasketaan päivittäinen muottityötarve. (Honkavuori & Lampinen 2009, 236.)

Muottikustannukset koostuvat kalustokustannuksista, muottityökustannuksista ja muista kustannuksista. Muita kustannuksia voivat olla muun muassa muottikustannusten työ- ja materiaalikustannukset, jotka eivät kuulu tarjoukseen. Muottityökustannuksia laskiessa tulee ottaa huomioon muottityö osana runkotyökokonaisuutta. Kustannuksissa on otettava huomioon asennustyö, purkutyö, muottien kasaaminen ja muutostyöt, puhdistus ja öljyminen sekä mahdolliset keskeytykset ja viivästykset muottityössä samoin kuin betonin kuivumisajat. Myös *muottikaluston valinta* perustuu eri kalustovaihtoehtojen kustannusvertailuun. (Honkavuori & Lampinen 2009, 236–238.)

Muottien käytönsuunnitteluvaiheessa laaditaan suunnitelma muottityön etenemiselle ja muottikierrolle. Tarkoituksena on optimoida kalustomäärät oikeiksi. Muottikierrolla tarkoitetaan muottirakenteen valmistamista muotin pystytyksestä purkuun ja jälleen uuteen pystytykseen. Muottikierto tulee suunnitella etukäteen, ja siinä on otettava huomioon, että noin 2/3 runkoajasta kuluu vaakarakenteiden valmistukseen. Vaakarakenteiden muottimäärä muodostuu usein 3–4-kertaiseksi valettavaan alueeseen nähden. Muottimäärä muodostuu sen mukaan, kuinka paljon muottikierrossa on varattava aikaa muotin asennukseen, raudoitukseen, talotekniikan asennukseen, valuun, kovettumiseen ja purkulujuuden saavuttamiseen sekä muotin purkuun ja siirtoon. (Honkavuori & Lampinen 2009, 238–239.)

5 TYÖVAIHEKUVAUS

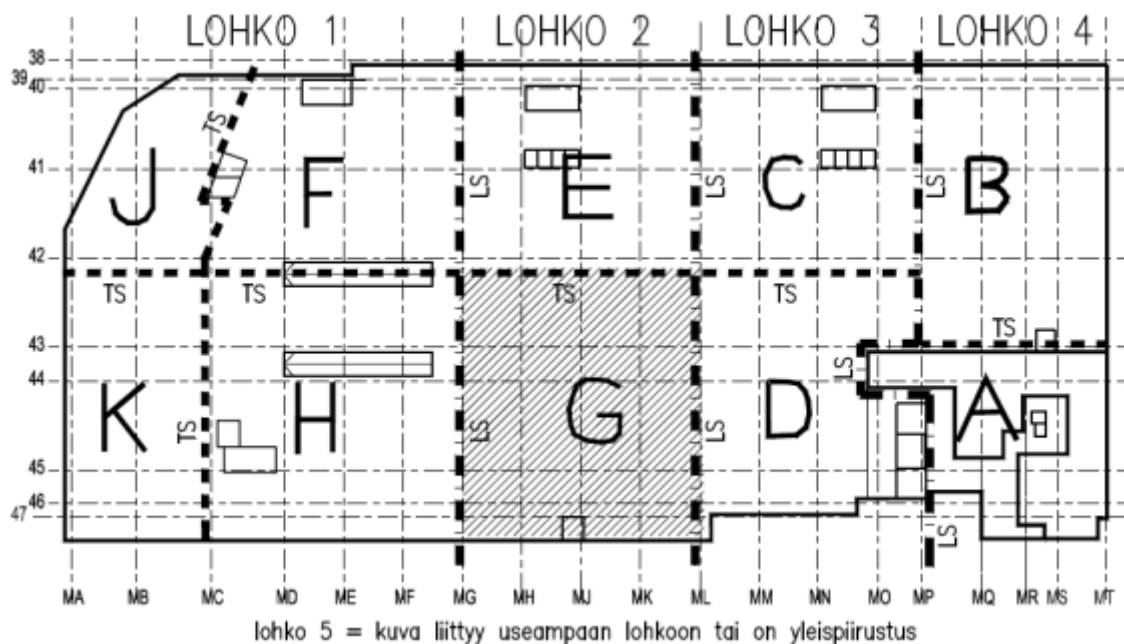
Opinnäytetyön kohdetyömaana toimii Matinkylän metrokeskus, jonka pääurakoitsijana toimii NCC Rakennus Oy. Paikallavalu-urakoitsijana toimii Rakennusliike Sierak Oy. Metrokeskus liittyy kiinteästi nykyiseen, laajennettavaan Ison Omenan kauppakeskukseen. Liityntäbussiterminaali ja pysäköintitilat rakennetaan metroaseman päälle. Metrokeskus yhdessä Ison Omenan ja Länsimetron aseman kanssa tulevat olemaan keskeisessä asemassa Etelä-Espoon liikenteen solmukohtana ja kaupallisena keskittymänä. Matinkylän metroasema on arvioitu ennusteiden mukaan uuden linjan vilkkaimmaksi asemaksi. Metrokeskuksen läpi oletetaan kulkevan päivittäin jopa 35 000 matkustajaa. Uudistettu kauppakeskus Iso Omena ja Metrokeskuksen liikenneterminaali avataan samaan aikaan, loppuvuodesta 2015, Länsimetron kanssa. Kauppakeskuksen laajennusosa valmistuu kokonaisuudessaan loppukesällä 2016.

Alla olevassa taulukossa (taulukko 7) on esitetty Matinkylän metrokeskuksen kerrosalat bruttoneliöinä.

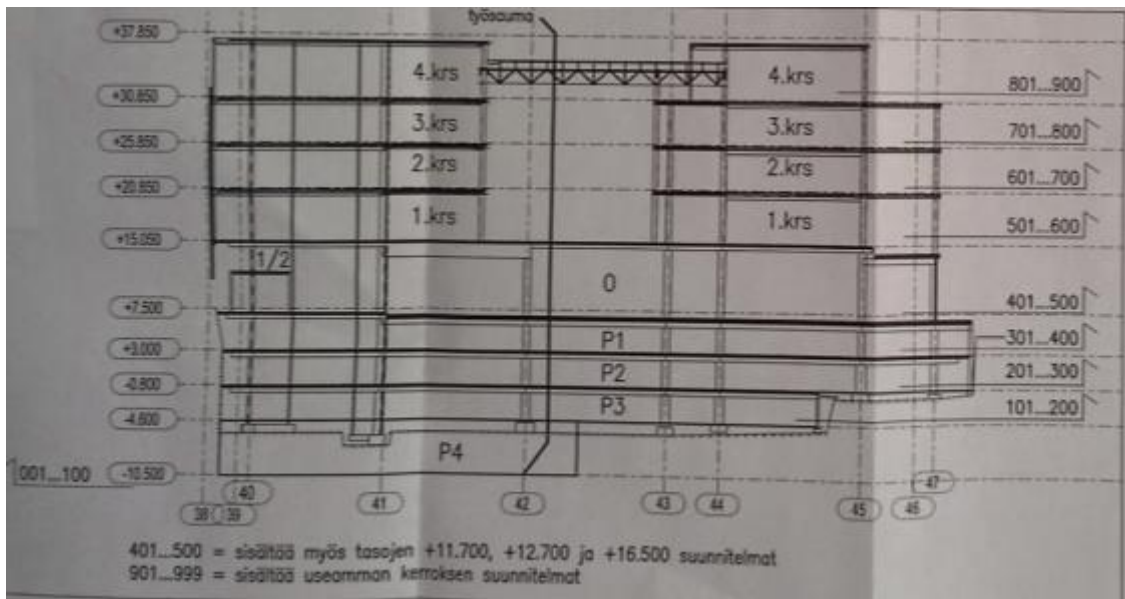
Taulukko 7. Matinkylän metrokeskuksen kerrosalat br^m² (Liideri n.d.).

MATINKYLÄN METROKESKUS	
Kerrokset	Bruttoala br ^m ²
P3	11082,5
P2	13868
P1	13952,5
Terminaali	12248
Puolikerros	1683
1. Krs	9527
2. Krs	9940
3. Krs	8611,5
4. Krs	3661
1. Asuinkrs	388
2. Asuinkrs	388
3.-14. Asuinkrs	5596,5
Asuinrak. Kattokrs	279
Yhteensä	91225

Jälkijännitettyä paikallavalulaattaa, jota opinnäytetyössä tarkastellaan, on tummennettu kohta kuvassa 14 eli alue G ja kerroksessa P1. Alue G:n holvin leveys on noin 42 metriä ja pituus 45 metriä. Arvioitu betonin kulutus tälle alalle on yli 1000 m³. Kuvat 14 ja 15 kuvaavat hyvin työmaan kokoa.



Kuva 14. Matinkylän metrokeskuksen lohko- ja valualueet (Liideri n.d.).



Kuva 15. Matinkylän metrokeskuksen poikkileikkaus (Liideri n.d).

Alla olevassa kuvassa (kuva 16) on esitetty työvaihekuvauksen kulku työvaiherungon avulla.



Kuva 16. Työvaihekuvauksen kulku.

5.1 Muottisuunnitelma ja aloittavat työt

Työmaan aloittamisvaiheessa, ennen muottitöiden aloitusta, valmistellaan muottisuunnitelma. Muottisuunnitelmasta toimitetaan piirustukset myös työmaalle (liitteet 1 ja 2). Muottisuunnitelma saadaan muottikalusteen toimittajalta ja suunnitelmassa esitetään:

- muottien yksityiskohtainen käyttö sisältäen pohja-, leikkaus- ja naamakuvat
- rakennemalli (kohteen mukaan)
- materiaaliluettelot käytettävistä muoteista
- sallitut kuormitukset (holvin paksuus, muottipaine)
- tapauskohtaiset erityisohjeet
- viittaukset muottikaluston yksityiskohtaiseen käyttöön.
(Muottisuunnitelma, n.d.)

Ennen töiden aloittamista työmaalla järjestetään aloituspalaveri, jolloin projekti voidaan katsoa alkaneeksi. Aloituspalaveriin osallistuvat muottityöntekijät ja työnjohtajat. Aloituspalaverissa projektin osapuolet voivat tutustua toisiinsa. Aloituspalaverin aikana pidetään muistiot, johon kirjataan palaverin tulokset. (Aloituspalaveri n.d.)

Osana aloituspalaveria käydään läpi hankkeen lähtöaineisto. Lisäksi palaverissa käsitellään muun muassa tarvittava kalusto, aikataulu ja muottikierto. Kyseisellä esimerkkityömaalla Matinkylässä käytettiin torninostureita muottien siirtoon ja asennukseen. Muottikierto suunnitellaan etukäteen työmaalla, ja siinä on otettava huomioon käytettävän betonin, raudoitus- ja LVI-asennusten vaikutukset muottikiertoon. Muottikierron työnsuunnitelun työvaiheita ovat:

1. Jaksotellaan valettava alue kertavaluosiin
2. Selvitellään työvaiheiden väliset riippuvuudet
3. Lasketaan muottityön ja -kaluston määrä
4. Lasketaan aika- ja työmenekit
5. Suunnitellaan työryhmät
6. Laaditaan muottityön aikataulu
7. Tehdään tarkastukset ja valinnat
8. Täydennetään muottisuunnitelma.

(Honkavuori & Lampinen 2009, 238–239.)

Ennen töiden aloittamista on tärkeää myös perehdyttää työntekijät kyseiseen työtehtävään ja työtehtävissä käytettäviin työkoneisiin. Lisäksi tarkistetaan, että kunkin työntekijän henkilökohtaiset suojavarusteet ovat kunnossa ja että niiden käyttöä valvotaan. Myös kalusto ja työvälineet on syytä tarkistaa ennen työn aloittamista. (Ratu 0400 2012, 6.)

5.1.1 Pöytämuottien asennus

Muottien asennus aloitetaan työkohteen vastaanotolla. Vastaanotossa tarkastetaan, että työvälineet ja koneet ovat kunnossa ja valmiita muottityötä varten. Vastaanoton yhteydessä käytettävien materiaalien kunto ja määrä tarkistetaan ja mahdollisista puutteista reklamoidaan. Materiaalien varas-

toinnissa tulee ottaa huomioon valmistajan ohjeet ja noudattaa niitä. Muotikalusto ja puutavara siirretään esivalmistus- ja asennuspaikalle koneiden ja muiden työvälineiden lisäksi. Ennen muottitöiden aloittamista ja niiden aikana on työkohde pidettävä siistinä. (Ratu 0400 2012, 7–8.)

Esivalmisteluiden jälkeen pöytämuotit nostetaan paikoilleen nostohaaran avulla tai – kuten kohdetyömaalla – torninosturilla nostoliinoin. Tämän jälkeen muotti asennetaan paikoilleen, ja sille säädetään oikea korkeus säätöjalkojen ja tasolaserin avulla (kuva 17). Pöytämuottien vinotuenat asennetaan ja tarkistetaan, etteivät pöytämuotit pääse kaatumaan (kuva 18). Mikäli pilarin ja pöytämuotin välinen aukko on pienempi kuin pöytämuotti, aukko tehdään pöytämuotin sijaan täydennysmuotilla (kuva 19). Tähän voidaan käyttää esimerkiksi puupalkkimuottia, jolloin saadaan juuri tarpeeseen sopivankokoinen ja -muotoinen muotti.

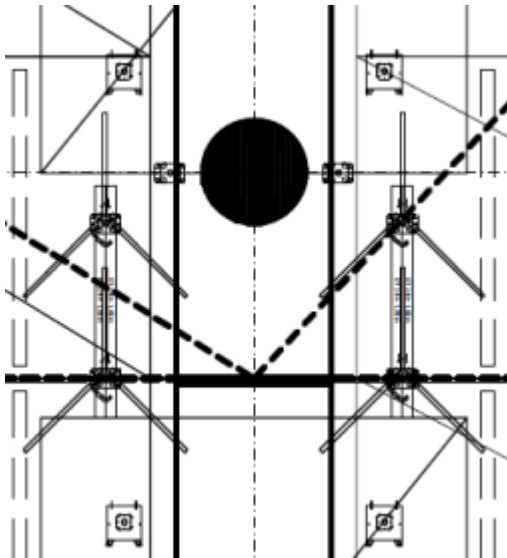
Kohdetyömaan pöytämuoteissa oli valmiiksi asennetut palkin sivumuotit ja niihin valmiiksi varatut muotin irrotusta helpottavat päästöt eli kallistumat. Esimerkiksi sivumuotin korkeuden ollessa 480 cm kaatoa ulospäin olisi tuolloin 1 cm.



Kuva 17. Pöytämuottien asennus.



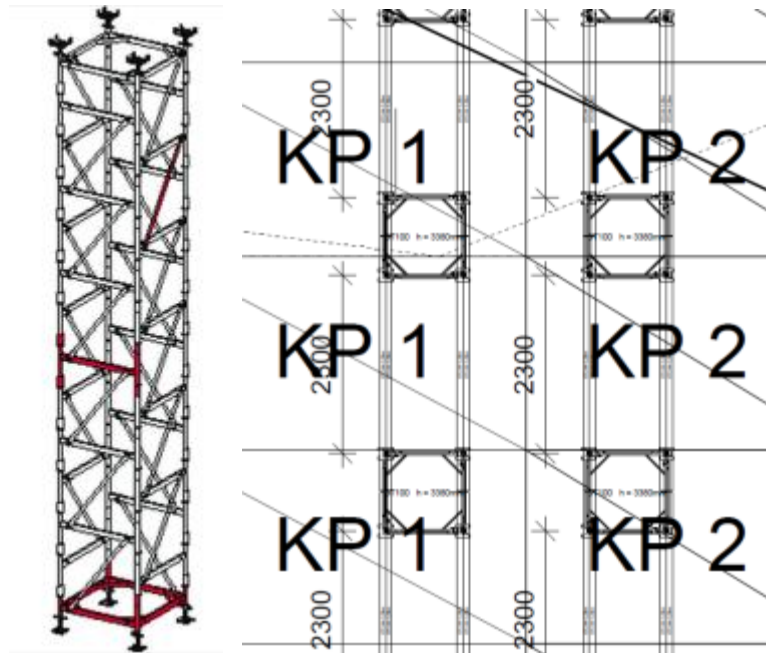
Kuva 18. Pöytämuottien vinotuennat.



Kuva 19. Vapaa-aukkomuottisuunnitelma piirustuksessa (PeriSuomi Ltd, n.d., ks. liite 2).

5.1.2 Tukitornit ja puupalkkimuotti sekä näiden asennus

Kohdetyömaalla käytettiin suunnitelmien mukaisesti tukitorneina PERIn ST-100-tukitorneja. Tukitornien tarkoituksena on antaa puupalkkimuoteille tukialusta valua varten. ST-100:n etuja ovat sen nopea asennus ja osien kiinnittyminen toisiinsa ilman erillisiä sokkia tai pultteja. Tukitorneja voidaan käyttää vaihtoehtona pöytämuotille silloin, kun pöytämuotin käyttö ei ole mahdollista, esimerkiksi parkkihallin korkeissa tasoissa. Tukitornien paikat määritellään muottisuunnitelmassa (kuva 20). (ST-100 tukitorni n.d.)



Kuva 20. Tukitorni ja tukitornien paikat muottisuunnitelmassa (ST-100-tukitorni n.d; ks. liite 2.)

Kohdetyömaan pysäköintirakennuksen rakenteena käytettiin palkillista laattarakennetta. Palkillisen laattarakenteen pilarien valamisen jälkeen tehdään puupalkkimuoteilla tuleva palkkilinja. Jos pöytämuottia ei voida käyttää, käytetään sen sijaan tukitorneja. Tukitornit asennetaan tulevalle palkkilinjalle pilarien väliin. Palkkilinja on paksumpi kuin tulevan holvin paksuus, ja tämän vuoksi alempi muotti tulee tehdä ensin.

Tukitornit voidaan kasata joko maata vasten tai suoraan pystyyn (kuva 21). Jos tukitornit kasataan maata vasten, tulee solkien ja vinositeiden olla asennettuina ennen niiden nostamista ja siirtämistä kohteeseen nosturilla. Suoraan pystyyn kasattaessa tukitornin säätöjalat ja alimmainen kehä asennetaan sille piirustuksissa tarkoitetulle paikalle. Tukitornin pystytyksen jälkeen tornit voidaan säätää arvioituun korkoon. Tämän jälkeen asennetaan kruunut, joissa ovat korkeuden säätöruuvit, joilla tukitornin lopullinen korko säädetään tasolaserin avulla.



Kuva 21. Tukitornien asennus.

Kun tukitornit on asennettu oikeaan korkoon, voidaan aloittaa puupalkki-muotin asennus. Tukitornin kruunujen päälle asennetaan niskapalkit, ja palkkien jatkoskohdat limitetään. Niskapalkkien päälle asennetaan koo-lauspalkit, ja palkkien jaot tehdään suunnitelmien mukaisesti. Seuraavaksi asennetaan vanerilevyt koolauspalkkien päälle (kuva 22). Vanerilevyjen sauma tulee sijoittaa koolauspalkin keskelle, jotta saumakohdasta saadaan tarpeeksi tukeva.



Kuva 22. Puupalkkimuotti tukitorneilla.

Tukitornien ja puupalkkimuottien asennusten jälkeen mitoitetaan muotin kanteen linja tulevasta palkista. Mittauksen jälkeen asennetaan palkin si-vumuotit ja tuetaan muotti esimerkiksi 50x100-kokoisella kappaletavaralla (kuvat 23 ja 24).



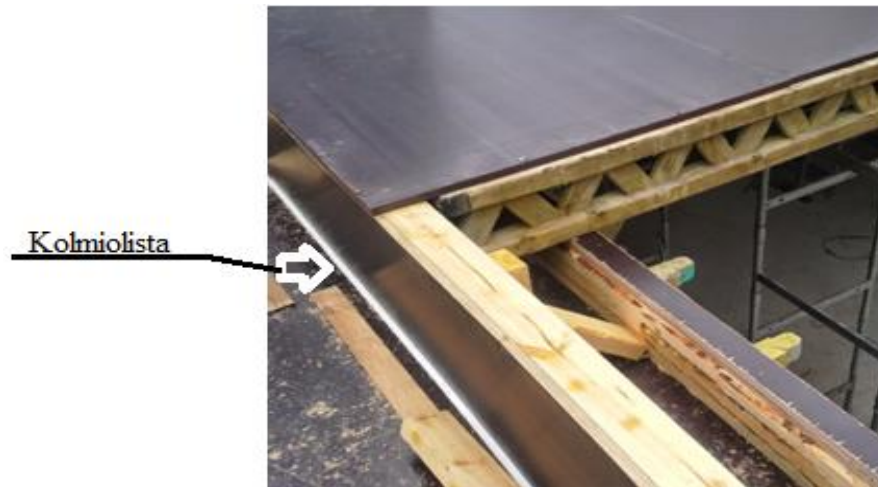
Kuva 23. Palkin sivut.



Kuva 24. Palkin sivut tuettuina.

Palkkilinjan viimeistelyn jälkeen tukitornit pystytetään muottisuunnitelman mukaisesti holvialueelle. Palkkilinjan alareunoille kiinnitetään kolmiolistat, jotka antavat valmiin palkin reunoille esteettisemmän, pyöreämmän muodon. Niskojen ja koalauspuitten jälkeen holvin kansi levytetään muottivanerilla (kuva 25) tai kenttäpöytiä käyttäen (liite 1). Jos holvi levytetään kappaletavaralla eikä kenttäpöydillä, tulee muottivanerien saumat sijoittaa koalauspuun keskelle. Jos taas käytetään kenttäpöytiä, pöytämuotin ja kenttäpöydän välinen sauma tulee peittää ohuella vanerisoivolla, joka kiinnitetään esimerkiksi pienellä naulapyssyllä (kuva 26). Kappaletavaran mahdolliset aukinaiset levyjen saumat tulee täyttää esimerkiksi

polyuretaanivaahdolla, ja kuivumisen jälkeen ylimääräinen vaahto tulee leikata pois esimerkiksi petkeleellä. Tällöin holvimuotti on valmis raudoitus- ja punostyötä varten (kuva 27).



Kuva 25. Holvin levytys ja kolmiolista.



Kuva 26. Pöytämuotin ja kenttäpöydän sauma peitetty vanerisoirolla.



Kuva 27. Raudoitusvalmis holvipinta.

Mittamies merkitsee ennen raudoitustyön aloittamista valmiisiin muotteihin topparilinjat, sähkörasioiden varaukset, lattiakaivot ja muut LVIS-varaukset. Palkkien toppareitten teko on syytä aloittaa mahdollisimman pian holvin levytyksen jälkeen. Näin saadaan merkittyä aktiiviankkureiden paikat, ja punosmiehet pääsevät asentamaan aktiiviankkureita. Lopuksi holvin pinta puhdistetaan roskista ja tarvittaessa ruiskutetaan muottiöljyllä ennen raudoitustyön aloittamista.

5.1.3 Muottitöiden työturvallisuus

Jokaisella on omalta osaltaan vastuu työmaan turvallisuudesta. Muottityösuunnitelmaa tehtäessä selvitetään myös muottityön vaaratekijät. Yleisimmät muottityön vaaranaiheuttajia ovat muotin kaatuminen, putoaminen tai heiluminen nostossa, muotin ja rakenteen väliin puristuksiin jääminen ja työntekijän putoamisvaara. Osana työturvallisuutta tulee ennen töiden aloittamista tarkistaa suunnitelmat, muottikalusto, koneet ja laitteet sekä henkilösuojainten kunto ja määrä. Mikäli nosturia tullaan käyttämään muottitöissä, tulee maapohjan kantavuus tarkistaa. (Betonirakenteiden muottityöt n.d, 5.)

5.2 Raudoitus- ja punostyön aloittaminen

Raudoituksen aloituspalaveriin osallistuvat työntekijät ja työnjohtajat. Aloituspalaverissa käsiteltäviä asioita ovat raudoituksen aikataulu, kalusto, raudoittamisjärjestys ja liittyminen muottikiertoon, suunnitelmat, laadunvarmistus, työturvallisuus ja työmenetelmät. Ennen raudoitustyön aloittamista on tärkeää varmistaa, ettei päällekkäisyyksiä ole ja etteivät raudoitustyöt häiritse edeltävien töiden tekoa. Raudoitustyön aikana tulee varmistaa, että tankojen vapaat välit ovat vaatimustenmukaiset. Tällä varmistetaan kiviaineksen tasainen levittyminen.

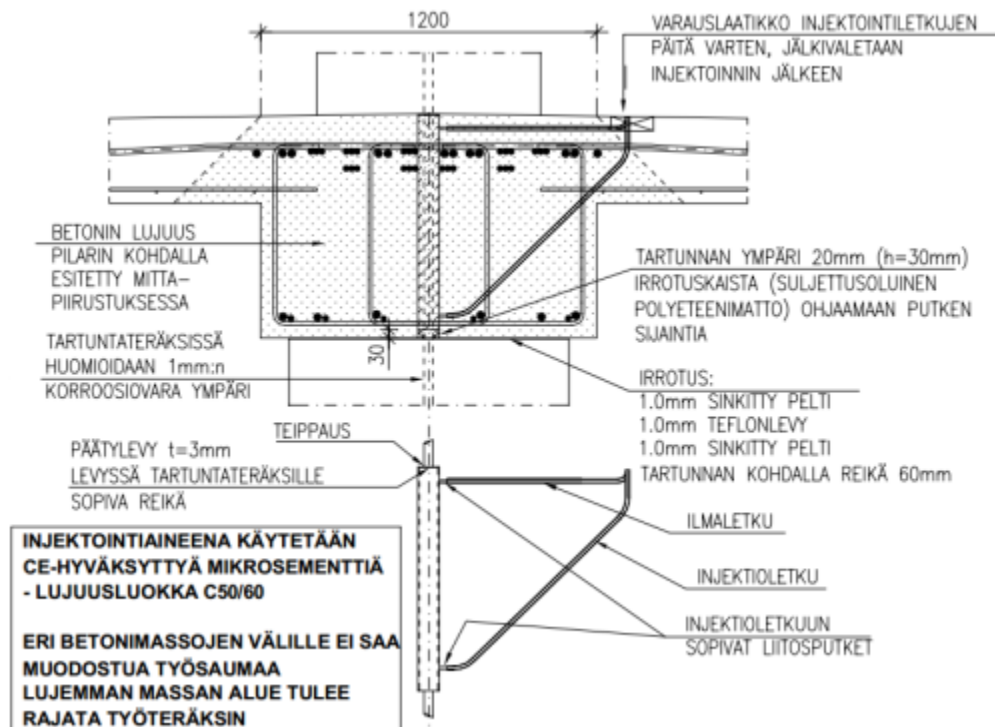
Raudoitus- ja punostöiden työjärjestys:

1. palkin haat, alapinnan raudoitus, päädyn lenkit ja ankkurit
 2. palkin punokset
 3. laatan jakoteräksset
 4. laatan alapinnan pääteräksset
 5. laatan reunaradoitus
 6. palkin yläpinnan teräksset
 7. laatan punokset
 8. laatan yläpinnan teräksset.
- (Liideri n.d.)

5.2.1 Pilaripäihin vaadittavat työt

Muottitöiden jälkeen ja ennen raudoitustyötä tulee pilarien päälle asentaa irrotuslaakerilevyt ja pilarien tartunnoille putkitukset (kuvat 28 ja 29). Laakerin ja putkituksen tehtävänä on taata palkin ja pilarin välinen liikkuminen, jotta rakenne ei vaurioituisi. Pilarin laakerina käytetään kolmi-kerrospeltiä, johon on varattu 60 mm halkaisijaltaan olevat reiät putkituk-

sia varten. Putkituksien juotokset voidaan tehdä, kun holvi on jännitetty ja yläpuolinen pilari on valettu. Injektointiaineena kyseisellä työmaalla käytettiin CE-hyväksyttyä mikrosementtiä lujuusluokaltaan C50/60.



Kuva 28. Jännitetyn rakenteen pilarin irrotusdetalji.



Kuva 29. Asennettu laakerilevy: putkitukset ja injektointiletkut.

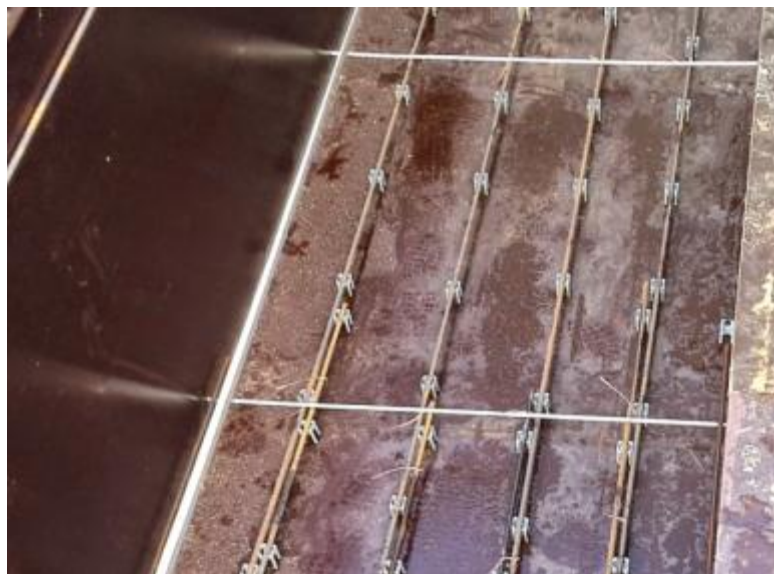
5.2.2 Palkin raudoitus ja punostyöt

Ennen raudoitustyön alkua mitataan ja porataan reiät sekä asennetaan palkkien ja holvialueen päätytoppareihin aktiiviankkurit (kuva 30). Aktiiviankkureiden sijainnit voidaan nähdä raudoituspiirustuksesta (liite 3). Palkin päätyhakaset voidaan asentaa, jos palkkimuotin toppariin on merkitty aktiiviankkureiden paikat. Tällöin vältetään ylimääräiseltä purkamiselta, sillä raudoitus ei tule ankkureiden tielle.



Kuva 30. Ankkureiden asennus.

Aktiiviankkureiden kiinnittämisen jälkeen palkkiraudoitus aloitetaan kiinnittämällä välikkeet muotin pintoihin käyttämällä nauloja. Välikkeiden tehtävänä on taata suojabetonipeite. Välikkeiden jälkeen raudoitustangot nostetaan paikoilleen ja kiinnitetään sidelangalla eli surrilangalla (kuva 31). Palkin hakateräksiset kiinnitetään raudoitustankoihin ja asennusteräksiin (kuva 32). (Ratu 0402 2012, 12.)



Kuva 31. Välikkeiden ja tankojen kiinnitys.



Kuva 32. Hakojen kiinnitys.

Palkin hakaterästen jälkeen sidotaan raudoituksen ryhdissä pitävät palkki-teräkset hakateräksiin. Rasvapunokset tulee asentaa suunnitelmien mukaisesti korkoihin käyttämällä esimerkiksi asennuspukkia tai hitsattuja vaakateräksiä. Suurin sallittu tukiväli rasvapunoksille on 1200 mm (liite 3). Vaakateräkset voidaan hitsata esimerkiksi palkin hakasiin. Tämän jälkeen punosmiehet alkavat vetää tulevia rasvapunoksia palkkeihin (kuva 33). Rasvapunokset vedetään yksitellen rasvapunosrullasta ja mitoitetaan haluttua pituutta hieman pidemmiksi. Punokset niputetaan suunnitelmien mukaisesti rinnakkain kolmen punoksen ryhmiin (kuva 34). Punosmiehet ja raudoittajat tekevät yhteistyötä, jolloin saadaan raudoituksella alustat passiiviankkureille, jotta ankkureiden kiinnittäminen olisi mahdollista.



Kuva 33. Jännepunoksien veto palkkiin.



Kuva 34. Punokset on niputettu toisiinsa palkissa.

Rasvapunoksen päistä poistetaan suojamuovia ja pyyhitään ylimääräinen rasva pois (kuva 35). Punoksen päät työnnetään passiiviankkureihin, jonka jälkeen ankkurit asennetaan yhdessä raudoittajien kanssa (kuva 36). Ankkureiden asennuksen yhteydessä raudoittaja asentaa palkkien päiden halkaisuteräksiset eli hakaset. Ankkureihin on yleensä aina suunniteltu, kuten tälläkin työmaalla, U-lenkit lisäraudoitukseksi ottamaan vastaan passiiviankkurin aiheuttamaa halkaisuvoimaa.



Kuva 35. Kuoritut rasvapunoksen päät.



Kuva 36. Asennetut passiiviankkurit.

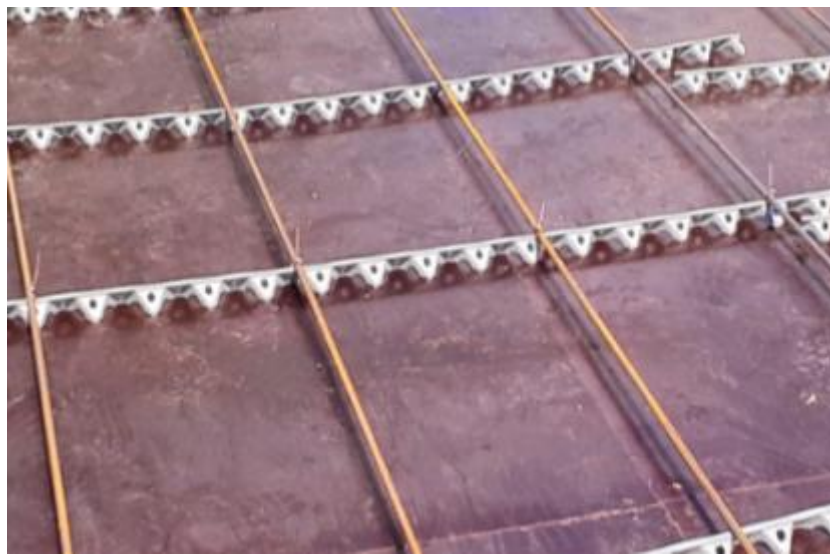
Passiiviankkureiden asennuksen ja rasvapunosten huolellisen sidonnan jälkeen punoksen päät kuoritaan tarvittavalta matkalta. Rasvapunokset työnnetään jo ennalta asennetuista aktiiviankkureista läpi (kuva 37). Punosten asennuksen jälkeen raudoittaja pääsee viimeistelemään palkin päiden raudoitukset. Punosten asennusten jälkeen on aina syytä tarkistaa sen riittävä sidonta ja välikkeiden oikea korkeus.



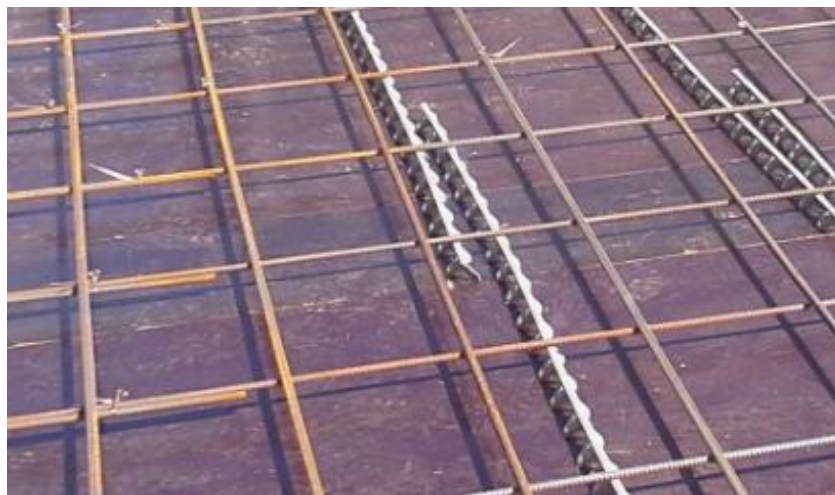
Kuva 37. Aktiiviankkurit asennettuina.

5.2.3 Holvin raudoitus ja punostyöt

Punosasennuksen yhteydessä raudoittajat alkavat valmistella holviraudoitusta (liite 4) raudoitusvälikkeiden paikalleenasettamisella. Kuten alapuolisesta kuvasta voidaan huomata, kohdetyömaalla käytettiin niin sanottua muovista Zig-Zag-listaa, jonka muoto takaa hyvän paineensiedon ja tekee siitä erittäin lujan (zig-zag lista n.d.). Alempi tankojako voidaan merkitä esimerkiksi raudoitusvälikkeisiin. Alemmat jakoteräket kiinnitetään raudoitusvälikkeisiin käyttäen surrilankaa (kuva 38). Tämän jälkeen merkitään toiseen suuntaan olevat tangot esimerkiksi muottipintaan tai olemassa olevaan alemman kerroksen raudoitukseen, jonka jälkeen toisen suuntaan olevat pääteräket kiinnitetään (kuva 39). Ennen seuraavaa työvaihetta on aina syytä tarkistaa raudoitteen riittävä sidonta ja suunniteltu välikekorkeus.



Kuva 38. Raudoitusvälikkeen ja jakoterästen asennus.



Kuva 39. Toiseen suuntaan olevat pääteräket.

Laatan alapinnan raudoitusten jälkeen seuraavaksi asennetaan laatan reunaraudoitukset eli hakasraudoitus (kuva 40). Hakasraudoitus tulee kiertämään laatan kaikki sivut suunnitelmien mukaisella jaolla, joka tässä tapauksessa oli 400 mm. Reunaraudoituksen hakasiin asennetaan myös yläpintaan jakoteräs, jotta raudoituksesta saadaan jyrkevä. Tämä helpottaa myös laatan yläpuolisia raudoitustöitä.



Kuva 40. Laatan reunaraudoitus.

Ennen laatan rasvapunosten asennusta raudoittajat viimeistelevät palkkilinjojen yläpinnan raudoitukset puuttuvilla raudoitteilla.

Palkkien yläpinnan viimeistelyn jälkeen holvin punostyöt voivat alkaa. Punostyöt aloitetaan siirtämällä punosrulla torninosturilla lähemmäksi työkohtetta. Punosrullasta vedetään punoksia yksitellen jännitettävälle alueelle. Punokset on syytä jättää hieman suunniteltua pituutta pidemmäksi. Jos punos jää liian lyhyeksi, ei sitä voida asentaa eikä jälkijännittää. Rasvapunokset sijoitetaan aina laatan vetopuolelle eli vapaalle alueelle lähelle laatan alapintaa muistaen kuitenkin huomioida raudoituksen betoni-peite. Pilarien ja palkkilinjojen kohdalla punokset asennetaan lähemmäs laatan yläpintaa, sillä näiden rakenteiden kohdalla yläpinta on vetopuoli. Punosten tarkat korkeudet löytyvät jännepunoskuvasta (liite 5). Rasvapunokset niputetaan kolmen punoksen ryhmiin (kuva 41).



Kuva 41. Holvin rasvapunokset kolmen ryhmissä.

Kun rasvapunokset on ankkureineen huolellisesti asennettu ja sidottu, pääsee mittamies merkitsemään takymetrillä rasvapunosten paikat mahdollisia myöhempiä tarkoituksia varten. Rasvapunosten paikat otetaan takymetrillä talteen, mikäli myöhemmin tarvitsee porata valmiiseen holvipintaan. Takymetrillä saadaan asennettujen vaijereiden tarkat sijainnit selville ja tällöin tiedetään, mistä kohtaa poraus on turvallista ilman että vaijereita katkotaan. Mikäli vaijeri katkeaa, on sillä suora vaikutus rakenteen kestävyys-

Laatan punosten asennusten jälkeen voidaan yläpinnan raudoitusten asentaminen aloittaa. Yläpinnan raudoituksiin kuuluvat muun muassa palkkien yläpintojen lisäteräksiset ja tartunnat holviin yläpuolisia rakenteita varten (liite 6).

Laatan yläpinnan raudoitus aloitetaan kiinnittämällä tukipukit työtankojen linjojen kohdille. Työtangot kiinnitetään tukipukkeihin, ja tankoihin merkitään tulevan yläpinnan raudoitusten jaot (kuva 42). Yläpinnan tangot otetaan raudoituksen alapinnan suuntaisiksi ja sidotaan työtankoihin. Sidoksia tulee olla vähintään kolme sidosta tankoa kohden. Yläpinnan alempien tankojen sidonnan jälkeen sidotaan ylempi kerros suunnitelmien mukaisella jaolla (kuva 43).



Kuva 42. Yläpuolisten raudoitteiden tukipukki.



Kuva 43. Yläpinnan raudoitus.

Yläpinnan raudoituksen jälkeen tehdään raudoitus- ja punostyön tarkastus. Jos raudoitus ja punostyöt on tehty huolellisesti ja suunnitelmienmukaisesti eikä puutteita ole, voidaan holvin valaminen aloittaa. Lopuksi ennen valua holvin pinta tulee puhdistaa ylimääräisistä surrilangan pätkistä ja muista rakennetta heikentävistä roskista. Metalli ja sekajäte siivotaan omiin jätelavoihinsa odottamaan poiskuljetusta.

5.2.4 Raudoituksen työturvallisuus

Koska raudoitustyöt holvirakenteissa tapahtuvat yleensä aina kumarassa, tulee työergonomiaan kiinnittää erityistä huomiota. Usein työasennot ovat työntekijöiden niveliä rasittavia, ja siitä voi seurata nivelten yllirasittuminen. On tärkeää, että työasennot ovat mahdollisimman vähän selkää, ran-teita ja polvia rasittavia. (Ratu 0402 2012, 16–17.)

Koska raudoitukseen käytettäviä raudoitteita tulee aina katkoa, syntyy nii-hin myös teräviä kärkiä. Ne voivat aiheuttaa raudoittajille viilto- ja pisto-haavoja. Näiltä voidaan suojautua työhön soveltuvilla suojakäsineillä ja pistosuojatuin turvakengin. Lisäksi rakenteista ylöspäin osoittavat raudoit-teiden terävät päät voidaan suojata sopivilla tulpilla. Myös raudoitustöistä syntyvät ylijäämäraudoitteet voivat raudoituspäiden tavoin aiheuttaa viil-to- ja pistohaavoja. Näiltä voidaan suojautua siirtämällä ylijäämäraudoit-teet omiin jätelavoihin. (Ratu 0402 2012, 16–17.)

5.3 Betonoinnin aloittavat työt ja työkohteen valmistelu

Betonointityön aloituspalaverissa käydään läpi betonoinnin aikataulu, ka-lusto, suunnitelmat (liite 7) ja laadunvarmistus. Lisäksi palaverissa käy-dään läpi betonoinnin työturvallisuus. Ennen töiden aloittamista betonoin-nissa tarvittavat koneet ja muut tarvittavat kalustot tarkistetaan ja siirre-tään työkohteeseen. Betonointikohdetta vastaanotettaessa tulee tarkistaa ennen betonoinnin aloittamista muottityön ja raudoituksen kelpoisuus. On myös tarkistettava, että peittyvät rakenteet ovat valmiita, tarkistettuja ja hyväksytyjä. Mahdolliset virheet tulee korjata ennen betonoinnin aloitta-mista. (Ratu 0403 2012, 6–7.)

Betonin kovettumista seurataan dataloggerilla, joka mittaa kuluneen ajan suhteessa betonin lämpötilaan. Dataloggeri kerää esimerkiksi neljän tunnin välein valusta kuluneen ajan ja betonin lämpötilan sillä hetkellä. Näillä da-taloggerin antamilla tiedoilla voidaan laskea betonin kypsyysikä eli beto-nin puristuslujuus. Dataloggerin keräämät tiedot syötetään esimerkiksi Be-toPlus-laskenta ohjelmaan, joka ilmaisee betonin lämpötilat ja lujuuden-kehityksen taulukkomuodossa (liite 8).

5.3.1 Pumppubetoniauto ja betonin siirto pumppaamalla

Osana betonitöiden valmistelua on pumppuauton pystytyspaikan suunnit-telu ja tarkistus. Erityisesti huomioon tulee ottaa ulottumat, maanperän kantavuus ja auton sijoitus (kuva 44). Betoniauton sijainnin suunnittelu on tärkeää, jotta betonointi on mahdollista suunnitellulle alueelle. Lisäksi maaperän tulee olla tarpeeksi kantavaa, ettei betoniauto pääse kallistu-maan betonoinnin aikana ja täten aiheuttaa työturvallisuusriskiä. Myös be-tonipumppauksen pumppulinja suunnitellaan ja rakennetaan ennen töiden aloittamista. (Ratu 0403 2012, 7.)



Kuva 44. Betonipumppuauto.

Betoni pumpataan betoniautosta valettavaan kohteeseen. Betonointi aloitetaan kohteen kauimmaisesta kohdasta. Myös työskentelypaikan ja ohjauspaikan välisestä viestinnästä tulee huolehtia. Näiden välillä tulee olla vähintään näköyhteys, mutta mieluummin esimerkiksi radiopuhelinyhteys. Pumppausletkun avulla betoni ohjataan valettavaan muottiin; samalla tulee huolehtia, ettei valun nousunopeus kasva liian suureksi. (Ratu 0403 2012, 8.)

5.3.2 Betonointi

Vaakarakenteiden, kuten laattojen, valu aloitetaan valettavan tason yhdestä reunasta ja edetään kaistale kerrallaan aina muotin toiseen laitaan (kuva 45). Kuten pilaripalkkirakenteissakin, palkkilinjaa tulee valaa ensin tarvittavan matkan hyvin tiivistäen. Tällä tavoin estetään betonin painumisesta seuraavaa laatan ja palkin rajakohdan halkeilua. Kun betonimassaa on pumpattu holville, tulee massa tiivistää huolellisesti sauvatäryttimellä ja betoninpinta tasata oikolaudalla. Tämän jälkeen massasta tarkistetaan kerroksen paksuus. Laatan paksuuden tarkistamiseksi voidaan käyttää koetinterästä tai etukäteen asennettuja korkolautoja. Kohdetyömaalla Matinkylässä laatan paksuus tarkistettiin omatekoisella koetinteräksellä. (Ratu 0403 2012, 10–11.)



Kuva 45. Holvin betonointia.

5.3.3 Jälkihoito- ja lopettavat työt

Betonoinnin ja välijälkihoitoaineen ruiskuttamisen (kuva 46) jälkeen tulee jälkihoito aloittaa välittömästi. Tällä tavoin saadaan betonin halkeilu minimoitua. Teräshieronta aloitetaan, kun betoni on kovettunut riittävästi eli kun betonimassa pystyy kantamaan ajettavan hierontokoneen painon. Jälkihoitoaineen ruiskuttamisen jälkeen betonipinta peitetään muovipeittein tai käyttämällä märkiä peitteitä. Pinnoista, jotka ovat muottia vasten, ei kosteus pääse haihtumaan alapuolelta, mutta avoimista yläpinnoista kosteus pääsee haihtumaan. Avoimet betonipinnat on siis syytä kastella jo seuraavana päivänä valusta. Betonipinnan jatkuva kastelu takaa betonin kovettumiselle vaadittavan kosteuden. Betonipinnoille sopiva jälkihoitoajan pituus on 3–14 vuorokautta olosuhteiden mukaan.



Kuva 46. Jälkihoitoaineen ruiskutus.

Betonoinnin jälkeen koneet ja kalustot puhdistetaan ja pestään huolellisesti seuraavaa käyttökertaa varten. Puhdistamisen jälkeen koneet ja kalustot siirretään varastoon. Ylimääräinen jäte siivotaan, lajitellaan ja kuljetetaan materiaalikohtaisiin omiin jätelavoihin. Betonipumppuauton pesupaikalla on syytä varmistaa, että auto voidaan pestä turvallisesti, kuitenkin huomioiden muun muassa sähkölinjat.

5.3.4 Betonoinnin työturvallisuus

Jo aloituspalaverivaiheessa käydään läpi betonointiin kuuluvat työturvallisuusriskit. Työmaasuunnitelmaan tulee kirjata betonin pumppauspaikat; ne tulee kirjata myös työmaa-alue piirustukseen. Ennen betonoinnin aloittamista täytetään betonipumppuauton pystytyspöytäkirja. Pöytäkirjan laadinnan yhteydessä tarkistetaan muun muassa tukijalkojen perustus, syöttöputkiston kunto, pääteletkun turvalukitus ja näköyhteys valukohteeseen. Kun betonointi on suoritettu, voidaan pumppuauton letku tyhjentää pallon ja paineilman kanssa. Tämän työvaiheen aikana on noudatettava erityistä varovaisuutta ja etukäteen on syytä varmistaa, että työntekijät tietävät työvaiheeseen liittyvät vaaratekijät. (Ratu 0403 2012, 14.)

Betonointityön aikana betoniroidiskeet ovat yksi vaaratekijä. Roiskeet voivat aiheuttaa iho- ja silmävaurioita. Roiskeilta voidaan suojautua suojavaatetuksella, suojalasein ja -käsinein. Tapaturmien varalta on kuitenkin hyvä varata betonointipaikalle silmähuuhdetta ja peseytymismahdollisuus. Koska betonointi suoritetaan raudoituksen päälle, aiheuttaa raudoitus vielä betonointivaiheessa vaaratekijöitä. Näitä tekijöitä ovat viillot ja ruhjeet, joilta voidaan suojata asiaan kuuluvien varustein. (Ratu 0403 2012, 15.)

5.4 Jälkijännitystöiden aloittaminen

Kuten muistakin töistä, myös jälkijännittämisestä tulee tehdä suunnitelma. Jännittämissuunnitelma sisältää:

- menetelmäkuvausten, kuten jänteiden tyypit ja ominaisuudet
 - asennuspiirustuksen
 - jännittämisjärjestyksen
 - jännittämisvoimat ja -venymät
 - ankkurointiliukumat ja niiden toleranssit
 - muotin tukirakenteiden säädön ja purkamisen jännittämistyön aikana
 - muut tarpeelliset tiedot.
- (Betoninormit 2012, 135.)

Edellä mainitun suunnitelman tiedot löytyvät liitteestä 8. Matinkylän metrokeskuksessa käytetty punosten jännitysjärjestys on:

1. joka toinen laatan punos
2. joka toinen palkin punos
3. loput laatan punoksista
4. loput palkin punoksista.

Ennen jännitystöiden aloittamista tulee betonin olla suunnitelmien mukaisesti tarpeeksi lujaa. Tässä kohteessa betonin tulee saavuttaa vähintään 30MPa:n lujuus ennen jännitystöiden aloittamista. Lisäksi ennen jännittämistä tulee tarkistaa, ettei rakenteissa ole betonointivirheitä tai muita vikoja.

Punosten jännittämistä varten tulee jännitystyöntekijälle tehdä riittävä ja turvallinen työtaso, jotta jännitystyöt voidaan suorittaa. Jänteen jännittäminen tehdään sille tarkoitetulla hydraulisella tunkilla. Lisäksi sähkönsyöttö tulee taata työpisteelle tunkkia ja rälläkkää eli kulmahiomakonetta varten.

Jännitystyöt aloitetaan kiertämällä auki aktiiviankkurin kierrekorkit ja purkamalla muotin päätytopparit. Tämän jälkeen poistetaan ankkureiden suojamuovit (kuva 47). Ankkureiden suojamuoveja voidaan käyttää uudestaan, ja ne on syytä laittaa talteen. Punokset katkaistaan sopivampaan mittaan työn suorittamisen helpottamiseksi (kuva 48). Tässä jännitystyössä käytettiin kaksoissylinteritunkkia, joten punoksen pituus kuitenkin täytyy jättää vähintään 500 mm:n pituiseksi.



Kuva 47. Aktiiviankkureiden suojamuovit.



Kuva 48. Punosten katkaisua jännitystyön helpottamiseksi.

Punosten katkaisun jälkeen punokset varustetaan kartiokiiloilla (kuva 49). Kartiokiilat voidaan työntää aktiiviankkurin juureen helposti käyttäen esimerkiksi ankkurin suojamuovin suojaputkea. Kartiokiilat tulee työntää niin pitkälle pohjaan asti kuin mahdollista eli ankkurille asti (kuva 50).



Kuva 49. Kartiokiilan asennus.



Kuva 50. Kartiokiila aktiiviankkurissa.

5.4.1 Jännitystyö ja tulosten merkitseminen

Kartiokiilojen asennuksen jälkeen alkaa varsinainen jännitystyö. Jokaisen punoksen pituus mitataan laatan reunasta (kuva 51) ja tulos merkitään joko punosluetteloon (liite 9) tai omakohtaiseen vihkoon.



Kuva 51. Punoksen mittaus ennen jännitystyötä.

Jännittämistyö tulee tehdä tarkasti ja asianmukaisesti. Jännittämissuunnitelmassa esitetystä arvosta suurin sallittu jännevoiman poikkeama yhdessä punoksessa saa olla korkeintaan $\pm 5 \%$ ja jänteiden yhteenlasketussa voimassa $\pm 3 \%$. (Betoninormit 2012, 135.)

Punosten pituuden mittauksen jälkeen tunkki asetetaan paikalleen, ja venytystyö voidaan aloittaa (kuva 52). Punoksia vedetään suunnitelmien mukaisella voimalla: laataassa punoksenjännitys on 205 kN ja palkissa 209 kN. Punosten jännitysjärjestystä tulee noudattaa, ettei jännitystyön aikana synny haitallisia jännitystiloja. Haitalliset jännitystilat voivat aiheuttaa ylimääräisiä halkeamia betoniin. Kun tunkilla on saavutettu suunnitelmien mukainen jännityshetken jännevoima, tunkki irrotetaan ja samalla kartiokiila lukitsee punosvaijerin, jolloin vaijeriin jää lopullinen jännevoima. Kun kartiokiila lukitsee vaijerin, esiintyy siinä 5 mm:n lukitusliukuma, joka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa rakennetta. Jännittämisen jälkeen mitataan punoksen pituus uudelleen ja se merkitään punosluetteloon tai omakohtaiseen vihkoon. Tällä tavoin saadaan mitattua jänteen veto-osan pituus ennen ja jälkeen jännittämisen sekä tarkastettua venymän pituus verrattuna suunnitelmiin.



Kuva 52. Jännitystyö käynnissä kaksoissylinteritunkilla.

5.4.2 Punosten katkaisu, varustaminen ja täyttö

Kun jännitystyö on valmis ja hyväksytty, voidaan punokset katkaista. Katkaisun jälkeen punoksen päihin asennetaan kierrekorkit ja ankkurin varauskolot paikataan.

Kuten kohdetyömaalla, jänneet voidaan katkaista hitsausleikkauksella (kuva 53). Ennen katkaisemisen aloitusta tulee työkohteessa olla asianmukainen alkusammutuskalusto. Hitsausleikkaus suoritetaan esimerkiksi puikkohitsauskoneella. Jänne tulee katkaista tarpeeksi lyhyeksi, jotta kierteellinen suojakorkki mahtuu suojaamaan jänneiden päitä. Jänneet katkaistaan kartiokiilan juuresta siten, että kartiokiila ei sula/vahingoitu. Katkaisun jälkeen punosta jää näkyviin noin 5 mm, jonka jälkeen suojakorkki kierretään paikalleen (kuva 54). Ennen varauskolojen paikkausta tulee kolot puhdistaa ylimääräisestä rasvasta, jota kierrekorkin asennuksen yhteydessä on voinut tulla, ja kuonasta, joka syntyy hitsausleikkauksen tuloksena.

Kun varauskolot on puhdistettu, ne paikataan kutistumattomalla massalla. Paikkausmassan täytyy olla lujuudeltaan ja rasitusluokaltaan sopiva. Paikkausmassan tulee olla lujuudeltaan ja rasitusluokaltaan samaa kuin ympäröivä rakenne.



Kuva 53. Punosten katkaisu.



Kuva 54. Punosten kierteelliset suojakorkit.

5.4.3 Jälkijännitystöiden työturvallisuus

Kuten muissakin korkealla tehtävissä töissä, myös jälkijännitystöissä täytyy käyttää putoamissuojaimia. Putoamissuojaimia tulee käyttää, jos työtasolla ei ole tukevia ja asianmukaisia kaiteita. Putoamissuojaimena voidaan käyttää esimerkiksi kokovaljasta ja vaimenninta, kun riskinä on vapaa putoaminen. Vaimentimen tehtävänä on vaimentaa pysäytyksestä aiheutuvaa vaarallista nykäystä. Jos jännitystyöt tehdään teleskooppi- tai nivel-

puominosturin henkilönostokorista, on työntekijän käytettävä tässäkin tapauksessa henkilökohtaisia putoamissuojaimia. Putoamissuojaimia ei tarvitse käyttää, jos työkohteeseen on tehty työtelineet kaiteineen.

Punosten hitsausleikkaus luokitellaan tulityöksi, jossa tulitöitä tilapäisellä tulityöpaikalla saa tehdä tulityökortin omaava henkilö. Lisäksi tilapäisten tulitöiden tekemiseen vaaditaan kirjallinen määräaikainen tulityölupa. Tulitöissä tulee työskennellä aina vähintään kaksi henkilöä, joista toinen tekee tulityön ja toinen on kipinävahtina. Aina ennen tulitöiden aloittamista tulee varmistaa, että kohteessa on alkusammutuskalusto. Tulitöiden jälkeen tulee tulityövartiointia jatkaa vähintään tunnin ajan. Vartioinnin edellytyksenä on, että vartija on läsnä tulityökohteessa ja pitää silmällä mahdollisten kipinöiden aiheuttavaa kyttemistä, josta voi seurata tulipalo.

5.5 Muottien purku

Matinkylän metrokeskuksen työmaalla käytettiin holvimuotteina kahta eri muottimenetelmää. Ensimmäisenä muottimenetelmänä käytettiin pöytämuottia ja kenttäpöytää ja toisena puupalkkimuottia eli kappaletavarasta tehtyä muottia. Tässä osiossa käydään läpi yllä mainittavien muottien purkamisvaiheet.

Muottien purkaminen voidaan aloittaa, kun betoni on saavuttanut riittävän lujuuden ja muottien purkamislupa on myönnetty. Ennen muotin purkamislupaa holvit on syytä jännittää muodonmuutosten minimoimiseksi. Muottien purkamisluvan myöntää vastaava työnjohtaja, betonitöiden työnjohtaja tai rakennesuunnittelija. Muotteja ei saa milloinkaan mennä purkamaan ilman lupaa. Ennen muottien purkamista tulee purettava alue eristää huomionauhalla työturvallisuussyistä; alueen sisäpuolelle saa mennä ainoastaan muottien purkuryhmä.

Kenttäpöydän ja pöytämuotin purku aloitetaan löysäämällä ja poistamalla purettavalta alueelta muottien välituet. Välitukien poistamisen jälkeen kenttäpöydät sidotaan kiinni holviin jo raudoitusvaiheessa asennettuun tartuntatankoihin muottilukolla (kuva 55). Tartuntarautoja on asennettu yksi kenttäpöytää kohden. Kenttäpöydän sitomisen jälkeen holvin muotitusta lähdetään purkamaan suunnitellusta reunasta aina purettavan holvin toiselle reunalle asti. Purkaminen aloitetaan poistamalla pöytämuotin vinotuet, ja muotti irrotetaan betonirakenteesta löysäämällä pöytämuottien jalkoja. Purettavan pöytämuotin alle asetetaan purkamistyöhön tarkoitetun kurottajan trukkipiikit, jonka jälkeen pöytämuotin jalat irrotetaan. Sen jälkeen pöytämuotti ja jalat kuljetetaan väliavarastoon. Tämän jälkeen kenttäpöydän alle ajetaan kurottajan trukkipiikit ja irrotetaan muottilukko sekä lasketaan kyseisen kohdan tukitornin kruunua, jotta purkaminen on mahdollista. Tämän jälkeen kenttäpöytä kuljetetaan väliavarastoon. Purkamisjärjestyksenä voidaan pitää esimerkiksi, että 1 tai 2 pöytämuotin jälkeen kenttäpöytä puretaan, jotteivät kenttäpöydät pääse roikkumaan pelkästään toisen puolen tukitornin ja tartuntatangon varassa.



Kuva 55. Kenttäpöydän tartuntarauta purkuvaiheeseen.

Puupalkkimuotin purku aloitetaan löysäämällä ja poistamalla purettavalta alueelta muottien välituet. Välitukien poistamisen jälkeen holvin muotitusta lähdetään purkamaan suunnitellusta reunasta aina purettavan holvin toiselle reunalle. Puupalkkimuottien tukitornien kruunuja ja holvitukien tukihaarukoita lasketaan noin 4 cm. Tämän jälkeen puupalkkimuotin koolauspuut kaadetaan kyljelleen ja nostetaan alas. Levysaumojen alla olevat koolauspuut jätetään vielä paikoilleen. Tämän jälkeen muottilevyt nostellaan varovasti alas. Muottivanerit pinotaan päällekkäin täsmällisesti, jotta muottilevyjen reunojen puhdistus on mahdollista. Jäljellä olevat koolauspuut ja niskapalkit nostetaan alas ja lajitellaan valmistajan ohjeiden mukaisesti nippuihin poiskuljetusta varten. Lopuksi tukitornit ja holvimuotit kruunuineen ja tukihaarukoineen puretaan ja lajitellaan niihin kuuluviin kuljetuslaatikoihin. Lajittelun jälkeen muottitavara kuljetetaan seuraavaan työkohteeseen.

5.5.1 Muottikaluston lajittelu

Käytetyn ja puretun muottitavaran lajittelu on ensiarvoisen tärkeää logistisista syistä ja työmaan siisteyden kannalta, joka on suoraan verrannollinen työmaan työturvallisuuteen. Vuokratut kalustot niputetaan valmistajan ohjeiden mukaisesti. Muottikaluston palautusohjeita löytyy esimerkiksi valmistajan kotisivuilta.

Ennen palkkien niputusta tulee palkit puhdistaa sementtiliimasta ja nau-loista. Palkit niputetaan 40 kappaleen nippuihin pituuden mukaan ja sidotaan vanteella. Nippujen alla tulee käyttää aluspuita siirtämisen helpottamiseksi, jolloin myös alimmat palkit pysyvät ehjinä. Muottivanerit puhdistetaan nauloista ja sementtiliimasta, jonka jälkeen muottilevyt niputetaan aluspuiden päälle omiin kasoihin pituuden mukaan. Levymuotit niputetaan esimerkiksi metrin korkuisiin nippuihin, minkä jälkeen levyjen reunat puhdistetaan. Reunojen puhdistuksen jälkeen niput sidotaan vanteella ja kuljetetaan seuraavaan työkohteeseen. Palkkikalustoa ei tule käyttää, jos palkissa on havaittu vaurio, joka voi olla esimerkiksi halkeama paarteessa tai suuri lohkeama; vaurioita ovat myös palkkiin porattu reikä tai reikiä, sahattu palkki tai palkin vaurioitunut diagonaali. Muottilevyt, joista on sa-

hattu pala, porattu reikä tai reikiä tai jonka nurkat on vaurioituneet, lajitellaan omiin nippuihin pienempiin käyttökohteita varten, jossa levyn vauriomattomaa osaa voidaan hyödyntää.

Holvitukien lajittelu aloitetaan poistamalla holvitukien päistä tukihaarukat, jotka lajitellaan omiin häkkeihin. Holvituet lyhennetään sen minimimitaan ja pinotaan niille tarkoitettuun kuormalavalle, ja pinot sidotaan vannteella. Tukitornin peruskehykset pinotaan kuormalavalle päällekkäin kierreellä 30 kappaleen nippuihin. Tukitornin jatkoskehykset, säätöjalat ja kruunut lajitellaan omiin häkkeihin. Lopuksi tukitornien vinositeet lajitellaan omiin kehikoihin, jonka jälkeen muottikalusto siirretään seuraavaan työkohteeseen tai väliavarastoon.

Pöytämuotit ja kenttäpöydät siirretään kurottajalla holvin alta sille alueelle, josta torninosturi voi siirtää niput seuraavaan työkohteeseen tai väliavarastoon. Pöytämuotit ja kenttäpöydät niputetaan päällekkäin omiin nippuihinsa.

5.5.2 Muottien purun ja siirron työturvallisuus

Ennen muotin purkamisen aloittamista purkualue tulee eristää eristysnauhalla. Muottien purkamistöissä ensisijainen työturvallisuusriski on, ettei huomionauhoitetulle purettavalle alueelle mene ulkopuolisia työntekijöitä, vaan ainoastaan purkutyöhön opastetut työntekijät. Muottien purkutyö tulee suorittaa erityisyyttä varovaisuutta noudattaen, ja muotit tulee purkaa suunnitelmien mukaisessa purkujärjestyksessä. Tällä varmistetaan, ettei muotin purkutyössä muotti ei pääse kaatumaan, jolloin pahemmassa tapauksessa työntekijä jäisi muotin alle. Lopuksi muotin purkamisen yhteydessä varmistetaan työkohteen siisteys.

Kun pöytämuotteja tai kenttäpöytiä nostetaan seuraavaan työkohteeseen tai väliavarastoon, tulee nostot suorittaa aina vapaan alueen kautta; liikkuminen on estettävä taakkojen alla nostovaiheessa. Kovan tuulen tai puuskittaisen tuulen aikana nostoja ei saa tehdä. Tulevassa työkohteessa tai väliavarastossa tulee tarkistaa, että alusta, johon muottiniput nostetaan, on tasainen. Tasaisuudella estetään muottinippujen kaatumista.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Jälkijännittämällä betoniin luodaan keinotekoinen jännitystila, jonka avulla rakenne tulee kestävämpään paremmin siihen kohdistuvia rasitteita. Jännitettyjen rakenteiden betonin nimellislujuuden tulee olla vähintään C25/30. Opinnäytetyön työvaihekuvauksessa tutkittiin ankkurijännebetonoinnin tartunnattomien jänneiden eli rasvapunosten asennusta ja käyttöä.

Jälkijännitetyn paikallavalulaatan työvaihekuvauksen päätyövaiheet ovat muottityöt, raudoitustyöt, betonointi, jälkijännitystyöt ja muottien purku. Nämä päätyövaiheet sisältävät useamman yksittäisen työvaiheen, jotka

työvaihekuvauksessa käsiteltiin loogisessa järjestyksessä valokuvien havainnollistettuina.

Työvaiheet aloitetaan aloituspalavereilla, ja niissä käydään läpi työaika-
taulu, laatuvaatimukset ja suunnitelmat. Aloituspalaveriin osallistuvat
työnjohtajat ja kunkin työvaiheen työryhmän "nokkamies". Aloituspalave-
reiden jälkeen suoritetaan kunkin työvaiheen aloittavat työtehtävät.

Muottitöiden eri vaiheista nousee esille muutama sen sujuvuuteen vaikut-
tava seikka. Muottien asennusvaiheessa on otettava erityisesti huomioon,
että jokainen käytetystä neljästä eri pöytämuotista sijoitetaan muottisuun-
nitelman oikealle paikalle. Lisäksi on otettava huomioon pöytämuottien
asennusjärjestys. Oikealla asennusjärjestyksellä lisätään muottitöiden jous-
tavaa kulkua ja nopeutetaan työvaiheiden etenemistä. Tällöin eri työvai-
heet voidaan limittää keskenään, jolloin samassa työpisteessä voidaan suo-
rittaa useampia työvaiheita yhtäaikaaisesti. Työvaiheet ovat riippuvaisia
toisistaan. Uuden työvaiheen aloittaminen edellyttää edellisen työvaiheen
suorittamista siihen pisteeseen saakka, että seuraava työvaihe voidaan
aloittaa. Tästä syntyy työvaiheiden limitys ja joustava työvaiheiden kulku,
jota voidaan soveltaa jokaiseen opinnäytetyön työvaihekuvausten työvai-
heeseen.

Raudoitustöiden piirteinä on niiden nopea tempo ja työtehtävien limittä-
minen. Raudoitus- ja punosmiehet tekevät yhteistyötä asentamalla yhtä ai-
kaa raudoitteet ja jälkijännityspunokset. Raudoitustöiden nopean tempon
takia virheisiin ei ole varaa, sillä virheet viivyttävät seuraavaa työvaihetta
eli betonointia. Betonimassa on tilattu tehtaalta saapuvaksi tiettyä ajan-
kohtana, ja virheiden korjaus vaikuttaa myös betonoinnin aloittamisen vii-
västymiseen. Myös jälkijännityksen rasvapunokset tulee sitoa huolellisesti
oikeaan korkoon mitoitettuihin korokkeisiin. Myös korkojen mitat on syy-
tä tarkistaa ennen valua.

Betonityöt tehdään yhtäjaksoisesti koko valettavan alueen osalta kerralla,
eikä näin ollen toimituskatkoksia saa tulla betonin toimittajalta. Betonoin-
nin alku voi myös viivästyä, mikäli betonin toimittaja ei pysty toimitta-
maan ennalta sovittuna ajankohtana betonia työmaalle. Tämä aiheuttaa
myöhästymistä aikataulusta ja rahallista tappiota urakoitsijalle. Työmaat
ovatkin riippuvaisia betonin toimittajan luotettavuudesta ja kyvystä toimit-
taa tarpeeksi betonia työmaalle sovitusti. Kun betonointi työt on hoidettu,
alkaa jälkihoito. Jälkihoito on erittäin tärkeä osa betonin laadunvarmistus-
ta ja lujuudenkehitystä. Jälkihoito aloitetaan jo valun aikana ruiskuttamalla
vastavaletun betonipinnan päälle välijälkihoitoainetta. Varsinaiset jälkihoi-
totoimenpiteet aloitetaan teräshierron jälkeen. Betonin lujuudenkehityksen
seurantaan käytetään dataloggereita, joilla varmistetaan jälkijännittämisen
aloittamiseen vaadittava betoninlujuus.

Jälkijännitystöitä tehtäessä on otettava huomioon työntekijälle soveltuva
työtaso. Jälkijännitystyöt voidaan tehdä joko rakennetulta telineeltä tai
henkilönostimesta. Telineenä voidaan käyttää myös holvimuottia, joka on
asennettu työsaumasta hieman pidemmäksi. Jännityslaitteiden tarkistus
ennen töiden aloittamista on tärkeää, jotta jännepunos voidaan jännittää

suunnitellulla voimalla. Myös laitteiden kalibrointi on tärkeää, ja niistä olevat todistukset on toimitettava työn tilaajan valvojalle. Punosten katkaisussa on otettava huomioon, ettei punosta katkaista liian läheltä kartiokiilaa. Liian läheltä katkaistu punos voi vahingoittaa kartiokiilaa.

Muotin purkamisessa on otettava huomioon, että jokaisella muottityypillä on omat purkutekniikkansa ja poiskuljetuksensa. Muottien purkamisen jälkeen muotit ja niiden osat tulee lajitella omakohtaisiin kuljetushäkkeihin, jotta työympäristö pysyy siistinä ja helppokulkuisena. Muotit ja niiden osat ovat helppo kuljettaa seuraavaan työkohteeseen niille osoitetuissa kuljetushäkeissä.

Jokaiseen työvaiheeseen sisältyy erityiset työturvallisuusriskinsä. Muottitöitä tehtäessä vaaratekijöitä ovat muotin kaatuminen tai sen heiluminen siirron aikana. Vaarana voi myös olla, että muotin kaatuessa työntekijä voi jäädä puristuksiin muotin ja rakenteen väliin. Raudoituksen työturvallisuudessa on otettava huomioon erityisesti työergonomia. Lisäksi raudoituksesta syntyvien terävät osat voivat aiheuttaa haavoja ja viiltoja. Tämä on riskinä myös betonointivaiheessakin. Betonoinnin aikana riskinä ovat roiskeet, jotka voivat olla vaarallisia silmiin joutuessaan. Myös betoniauton kaatuminen voi aiheuttaa vaaratekijän, mikäli betoniautoa ei ole sijoitettu tarpeeksi kantavalle maaperälle. Punoksien katkaisemisen aikana myös tulityöturvallisuus on otettava huomioon.

LÄHTEET

Aho, T., Hyttinen, M., Hänninen, R., Rydenfelt, V-P., Tolonen, K. & Vuorinen, P. n.d. Betonilattioiden kulutus – kestävyysluokan valinta. Viitattu 27.2.2015.

http://www.betoni.com/Download/21787/BL_2000_4_s56_59.pdf

Aloituspalaverin muistio n.d. Organisaatio: OAMK. Viitattu 6.3.2015. http://www.tekniikka.oamk.fi/~timohei/TL734Z/aloituspalaverin_muistio.html.

Anttila, V., n.d. Uudet betoninormit ohjeet ja määräykset. Yritys. Rudus. Viitattu 3.2.2015.

<http://www.rudus.fi/Download/27331/Uudet%20betoninormit%20ohjeet%20ja%20m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset.pdf>

Betonilattiat 2014. 2014. Suomen Betoniyhdistys Ry. Tammerprint: BY-koulutus Oy.

Betonin kovettuminen eli lujuudenkehitys n.d. Finnsementti Oy. Viitattu 11.2.2015.

<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaalle/betonin-kovettuminen-eli-lujuudenkehitys>

Betonin lujuus n.d. Yritys. Finnsementti Oy. Viitattu 3.2.2015.

<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaalle/betonin-lujuus>

Betonin lujuus riippuu vesi-sementtisuhteesta n.d. Finnsementti Oy. Viitattu 3.2.2015.

<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaalle/betonin-lujuus-riippuu-vesi-sementtisuhteesta>

Betonin rasitusluokat lyhyesti n.d. Finnsementti Oy. Viitattu 3.2.2015.

<http://www.finnsementti.fi/tietoa-betonista/tietoa-betonista-suunnittelijalle/betonin-rasitusluokat-lyhyesti>

Betonin valinta rakenteisiin – olosuhdehallinta n.d. Yritys. Rudus. Viitattu 4.2.2015.

<http://www.rudus.fi/Download/25808/Betonin%20valinta%20rakenteisiin%20-%20olosuhdehallinta.pdf>

Betoninormit 2012. 2013. Suomen Betoniyhdistys Ry. Lahti: BY-Koulutus Oy.

Betonirakenteet 2000. Organisaatio. Ympäristöministeriö. Viitattu 5.2.2015.

<http://www.finlex.fi/data/normit/6364-B4.pdf>

Betonirakenteiden muottityöt n.d. Organisaatio. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 9.3.2015.

<http://www.valmisbetoni.fi/Download/21898/Muottity%C3%B6t.pdf>

Betonointi, Ratu 0403, 08/2012. Yritys. Rakennustieto. Viitattu 14.3.2015.

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/ratu/kortit/0403>

Honkavuori, R., Lampinen, L., 2009. Betonitekniikan oppikirja 2004. Jyväskylä: Suomen betonitieto Oy

Jälkihoito n.d. Organisaatio. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 10.2.2015.

<http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/betonityot/jalkihoito>

Jännemenetelmän käyttöseloste 2006. Yritys. Oy Alfred A. Palmberg Ab. Viitattu 19.2.2015.

<http://www.palmberg.fi/Link.aspx?id=10008773>

Kurvinen, P. 2014. Tehtäväsuunnitelma jälkijännitetyille rakenteille. Karelia-ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Liideri n.d. Yritys. NCC Rakennus Oy. Viitattu 24.3.2015.

<https://online.liideri.com/>

Mannonen, P., 2008. Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu 2007. Suomen betonitieto Oy.

Muottijärjestelmät n.d. Organisaatio. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 20.2.2015.

<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/muotit/Muottij%C3%A4rjestelm%C3%A4t>

Muottisuunnittelu n.d. Organisaatio. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 23.2.2015.

<http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/muotit/Muottisuunnittelu>

Paikallavalettu jälkijännitetty pysäköintirakennus 2005. Kestävä kivitalo-projekti 2005. Suomen betonitieto Oy. Helsinki: Suomen betonitieto Oy.

Prestressed Concrete, n.d. Organisaatio. Faculty Of Mechanical Engineering – IUT. Viitattu 19.2.2015.

<http://iutmech.blogfa.com/post/5>

Pöytämuotit n.d. Yritys. PERI Suomi Ltd Oy. Viitattu 23.2.2015.

http://www.perisuomi.fi/tuotteet.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/49/currentimage/2/productcategory_ID/11/app_id/4.cfm

Ratu 0400, 06/2012. Yritys. Rakennustieto. Viitattu 6.3.2015.

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/108578.html.stx>

Raudoitus, Ratu 0402, 06/2012. Yritys. Rakennustieto. Viitattu 10.3.2015.

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/108580.html.stx>

Ruohomäki, J., Jormalainen, P., Pärssinen, V., Saarikivi, E., Söderholm, S. 1990. Raudoitustyöt. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys r.y.

Sierak n.d. Yritys. Rakennusliike Sierak Oy. Viitattu 2.4.2015.
<http://www.sierak.fi/>

Silvennoinen, K., Hietanen, T., Tikanoja, T. 2009. Organisaatio. Rakennustuoteteollisuus RTT Ry. Viitattu 2.2.2015.
http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperusteet.pdf

SR-sementti n.d. Yritys. Finnsementti Oy. Viitattu 3.2.2015.
<http://www.finnsementti.fi/tuotteet/sementit/sr-sementti>

ST-100 tukitorni n.d. Yritys. PERI Suomi Ltd Oy. Viitattu 6.3.2015.
http://www.perisuomi.fi/tuotteet.cfm/fuseaction/showproduct/product_ID/14/app_id/5.cfm

ST-100 tukitorni n.d. Yritys. PERI Suomi Ltd Oy. Viitattu 6.3.2015.
http://www.perisuomi.fi/tuotteet.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/14/app_id/5/imgpath/st100_04.gif.cfm

Suomen betoniyhdistys ry. 2011. Betoninormit 2012. Lahti: BY-Koulutus Oy.

Säilyvyys. n.d. Organisaatio. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 2.2.2015.
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/rakenteellinen-toiminta/sailyvyys>

Taipuma n.d. Organisaatio. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 20.2.2015.
http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23188/Leaflet_8_Taipuma.pdf

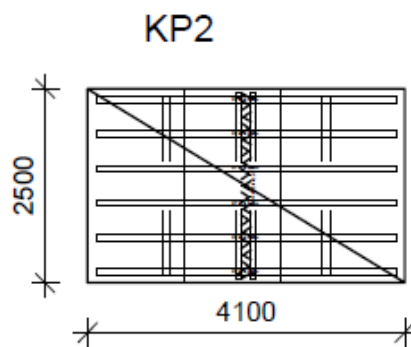
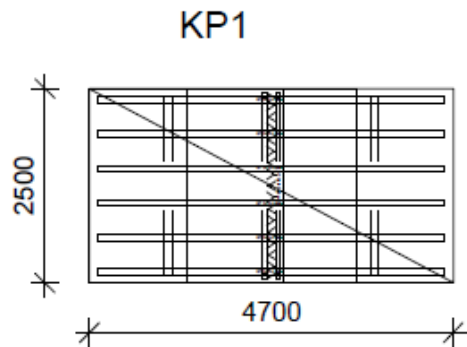
Uudet betoninormit n.d. Organisaatio. Betoniteollisuus ry. Viitattu 6.2.2015.
<http://www.betoni.com/Download/21845/Betoninormien%20by50%20ja%20B4%20vaikutukset.doc>

Uusitalo, J., Ihanamäki, J., Rajala, R., Vallin, O. 2012. Betonityöt. Tampere: Rakennustieto Oy

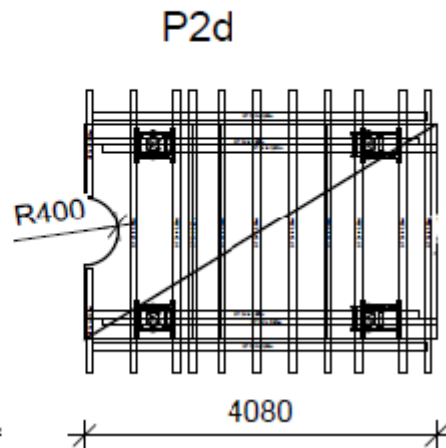
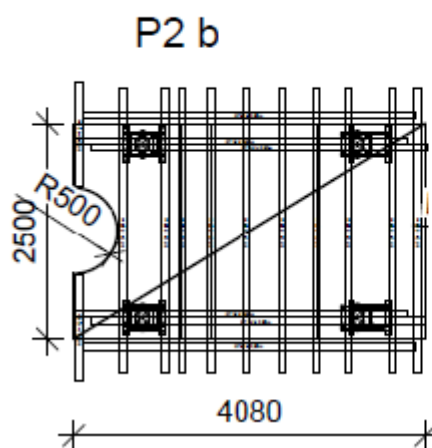
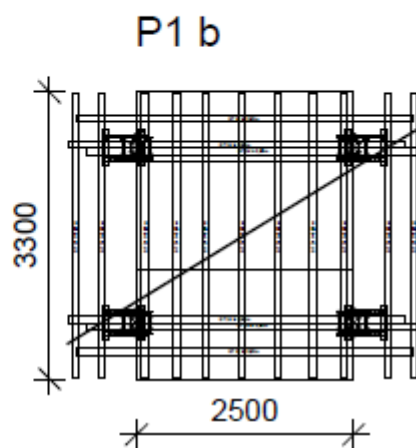
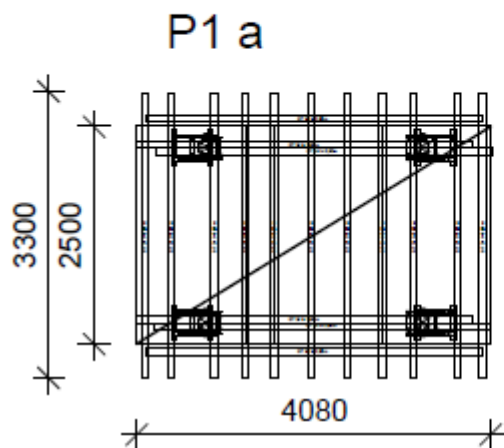
Zig-Zag lista n.d. Yritys. HauCon Finland Oy. Viitattu 11.3.2015.
<http://www.haucon.fi/tuotteet/raudoitusvalikkeet/raudoitusvalikkeet-muovi/11/zig-zag-lista#>

PÖYTÄMUOTTI TYYPIT

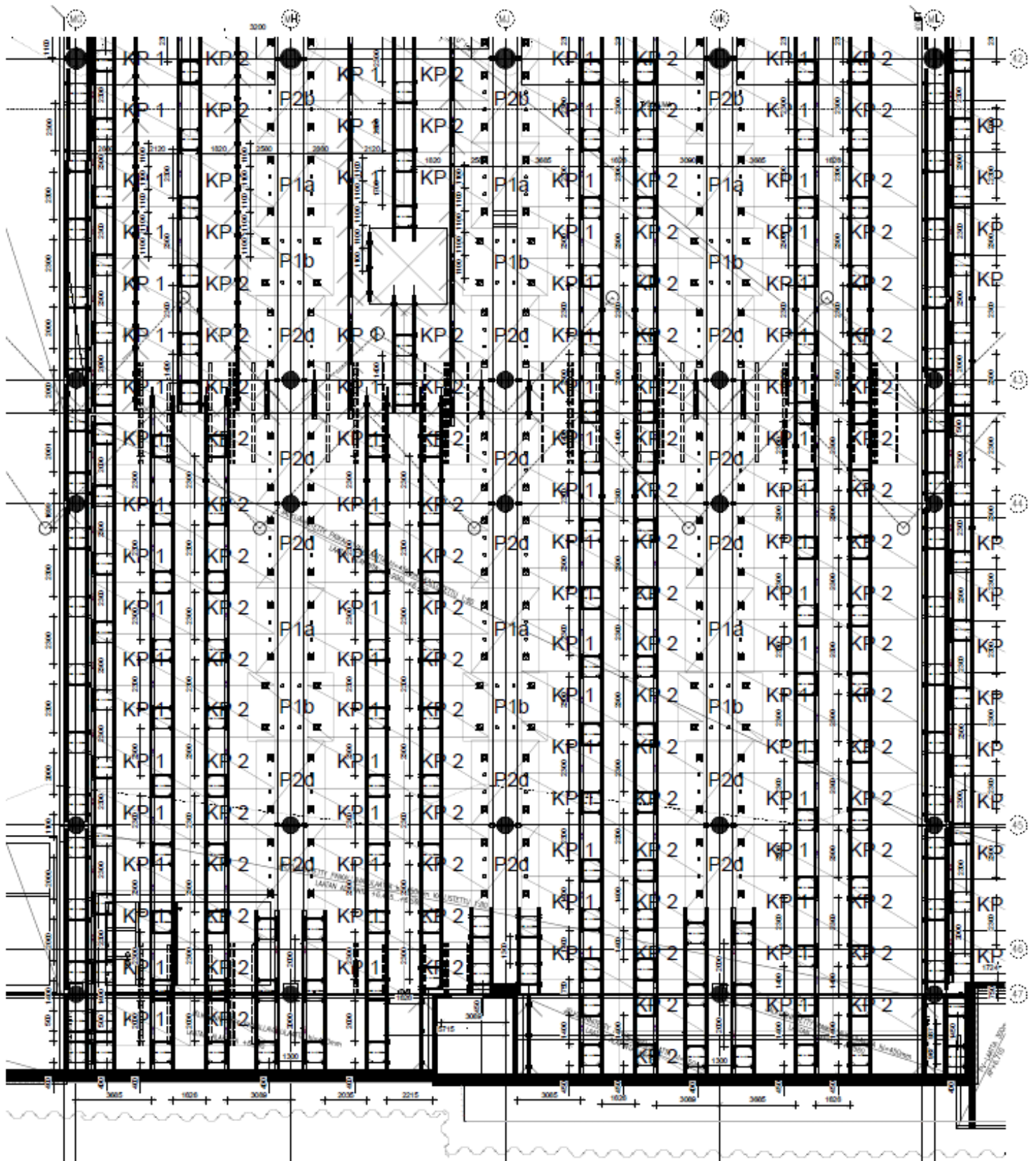
KENTTÄPÖYDÄT



PALKKIPÖYDÄT



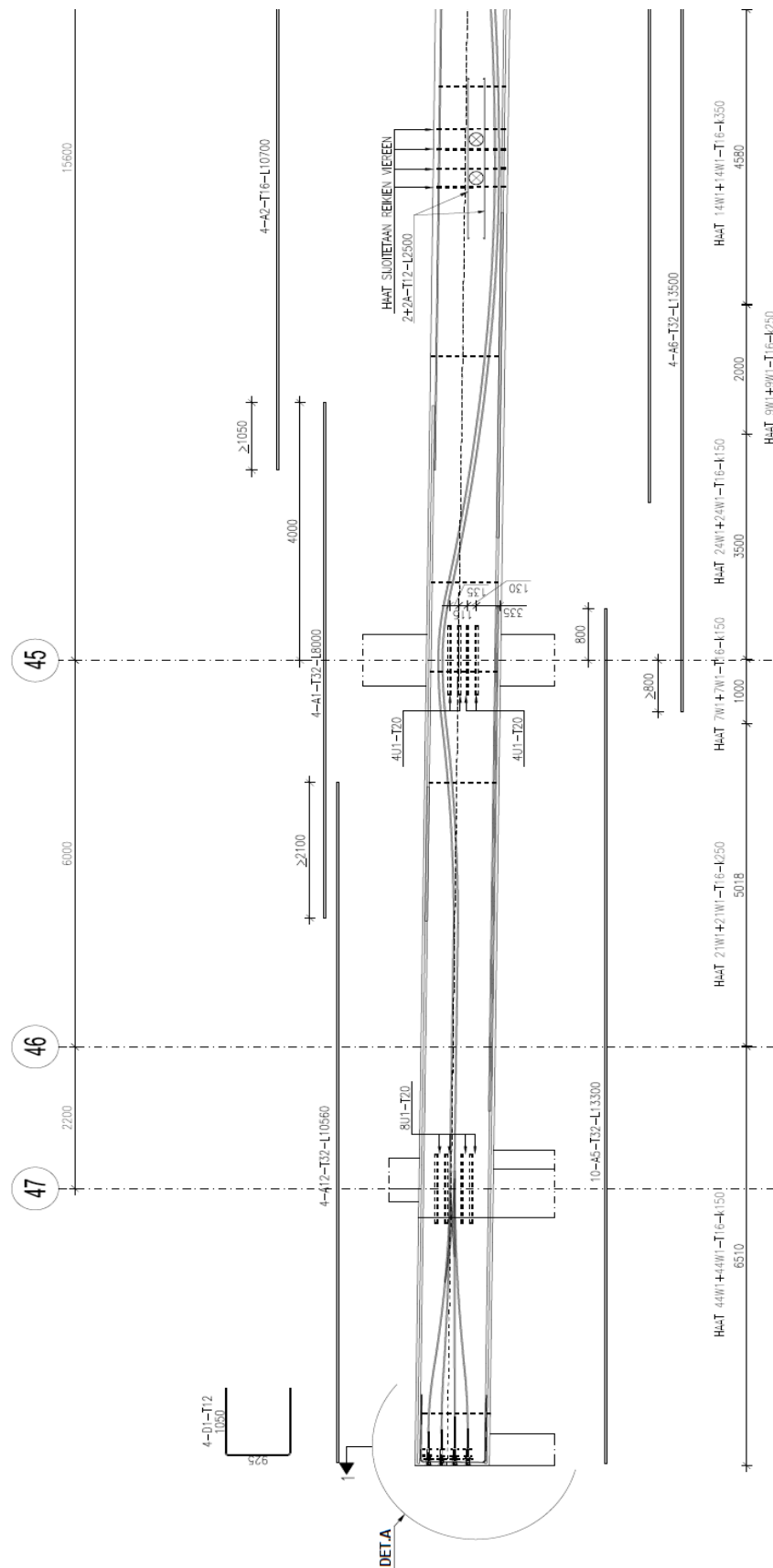
MUOTTISUUNNITELMA



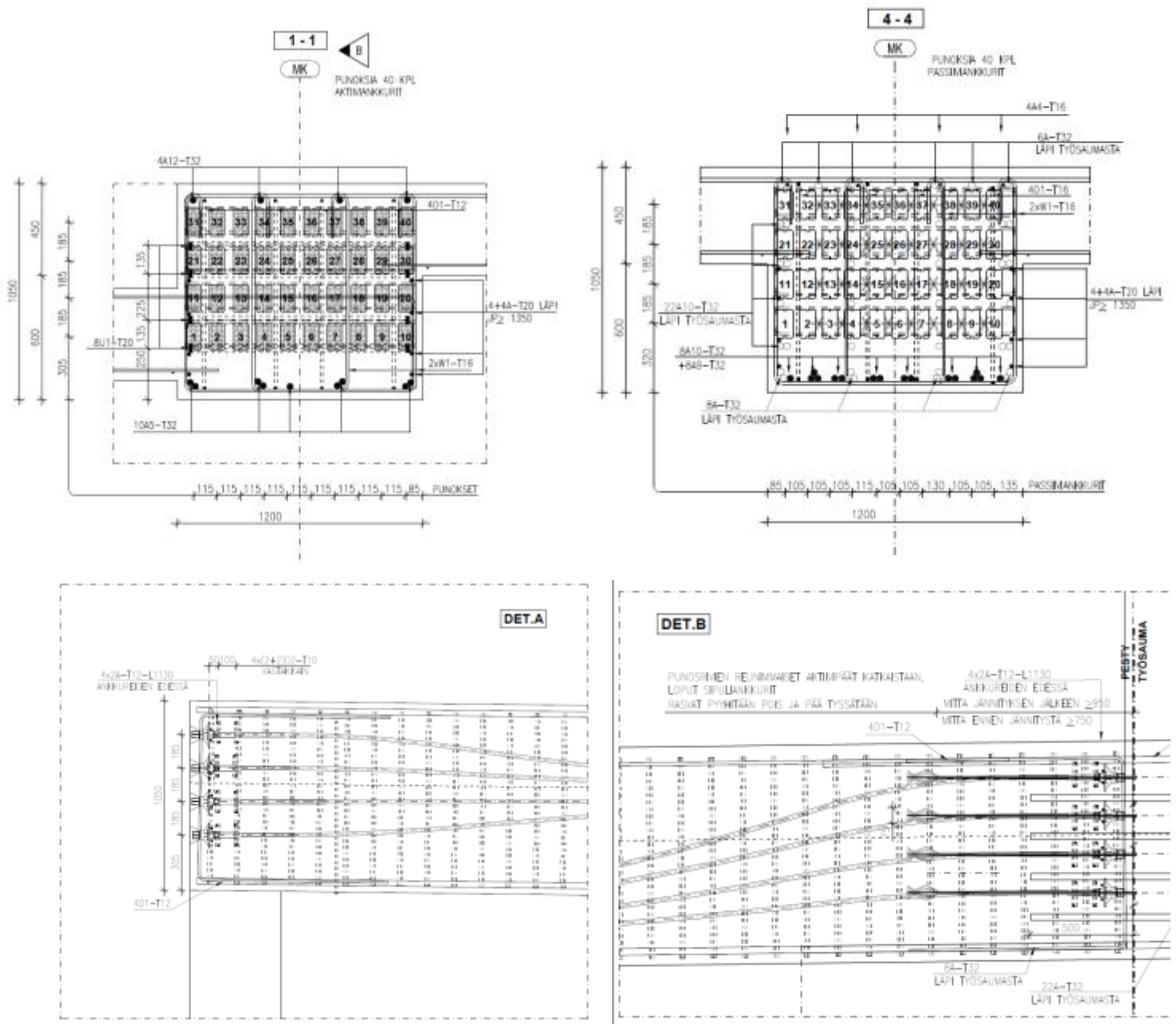
PALKIN RAUDOITUSPIIRUSTUS



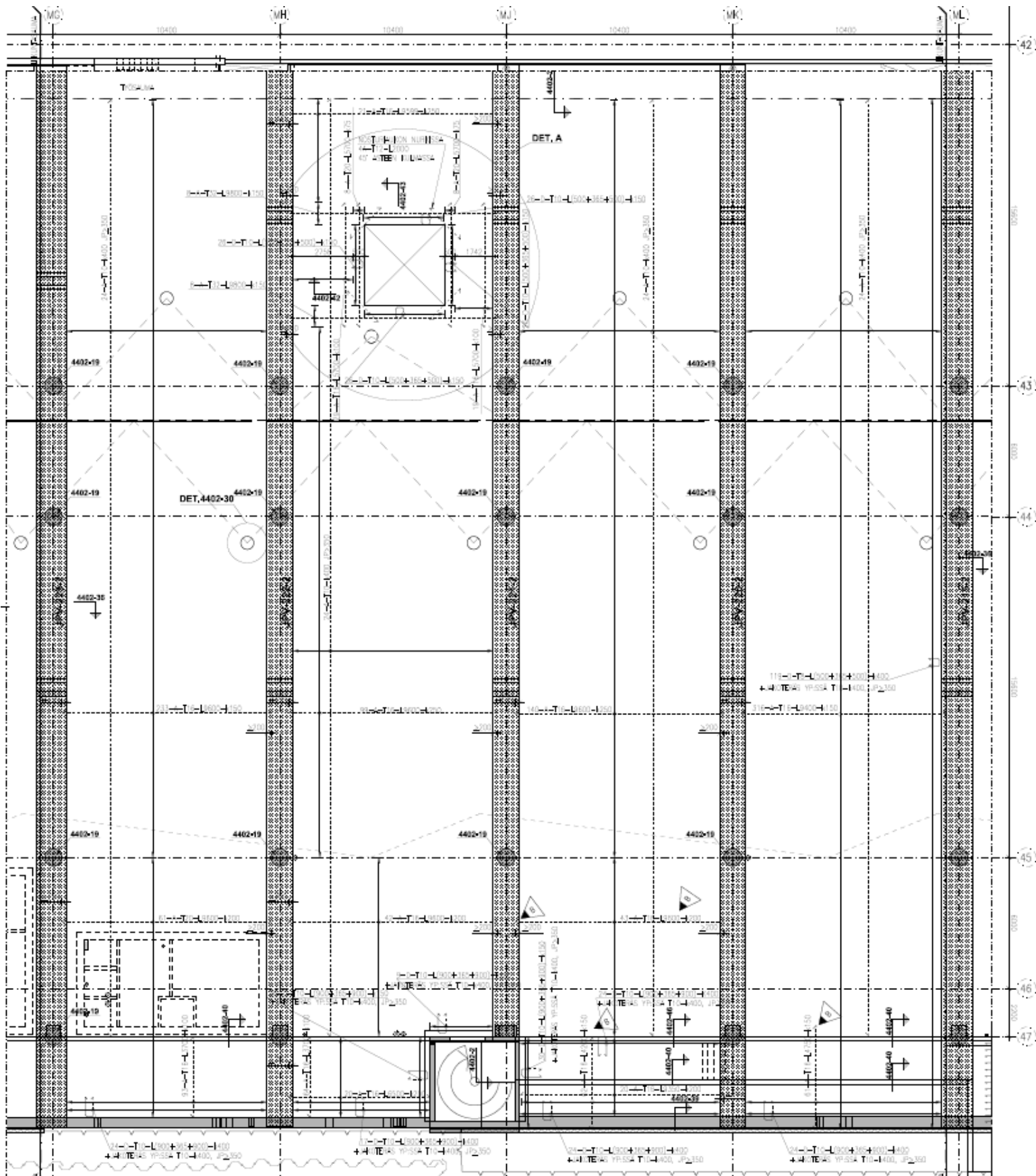
PALKIN RAUDOITUSPIIRUSTUS



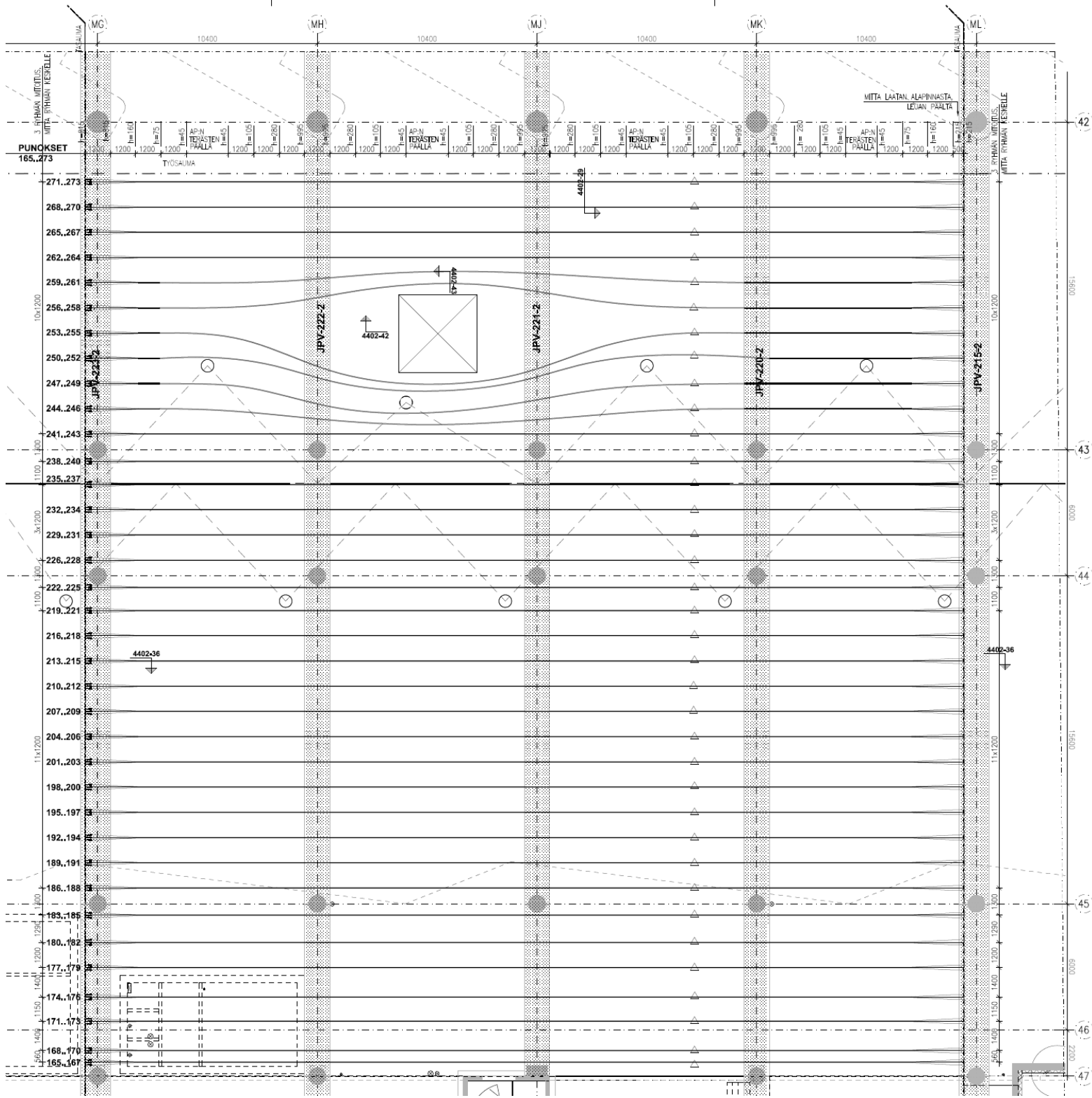
PALKIN RAUDOITUSPIIRUSTUS



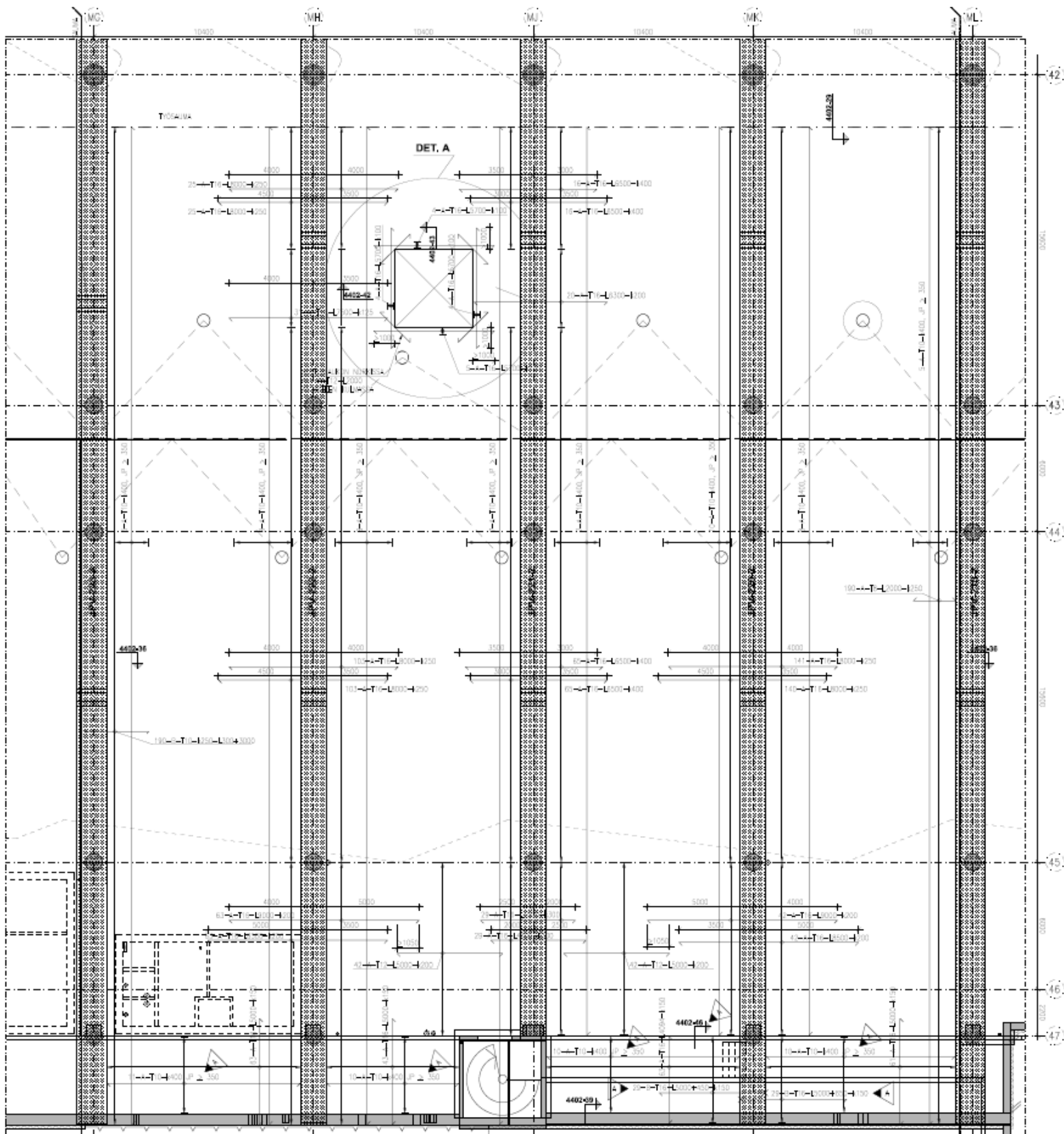
ALAPINNAN RAUDOITUS



JÄNNEPUNOSKUVA



YLÄPINNAN RAUDOITUS



BETONOINTISUUNNITELMA

HOLVIN BETONOINTISUUNNITELMA

Kohde:	Matinkylä Metrokeskus
Betonoitava holvi:	Lohko G, taso +7.500
Betonointi pvm:	11.9.2014 klo 07.00
Betoni:	C 35/45 XC3 ,XD1, 100v. 16mm/32mm, S3, NK
Jälkihoitoaineet:	Välihoito CF 111 , Hoitoaine Pieri Curing
Betonimäärä:	1046m3 (holvi 862m3 ja palkit 184m3)
Betoni pumpput	2kpl (ulottumat 46jm+52jm)
Suunniteltu bet.nopeus:	2X30m3/h (kun valetaan kahdella pumpulla) klo 07.00-20.00

Betonointityökunta	1-2tj+4 lattiamiestä+ 6betonimiestä+2 pintamiestä+1ram
Arvioitu hierron ajoitus:	klo 14.00-03.00
Yläpinnan suojaus:	12.9.2014 alkaen klo 07.00
Lämmitys:	yläpuolinen suojaus Lohjacellillä valua seuraavana aamuna
Luujuudenkehityksen seur.	2x Loggerit, laskelmat Beto+
Arvioitu jännittämisäika:	15.9.2014
Sääennuste:	8-14 astetta, poutaa, tuuli 2-4m/s luoteesta
Muotin tarkastus	Peri Suomi oy ja Sierak 9.9.2014
Raudoitus tarkastus:	Finnmap ja NCC 10.9.2014

Betonipumpput saapuvat työmaalle klo 06.00

Valuryhmä, työnjohtajat ja mittamies kokoontuvat valupaikalle 06.30. Tällöin käydään läpi ko. valun erityisvaatimukset ja mm. kaadot. Betonointi aloitetaan klo 07.00.

Valusuunta on linjalta 42 kohti linjaa 47. Valu aloitetaan täyttämällä (2 / valuryhmä) 5 palkkia 1/6 pituussuunnassa ja 1/2 osaa korkeussuunnassa.

Tämän jälkeen aloitetaan uudelleen palkkien betonointi täyttämällä palkit holvin kantaan.

Seuraavaksi aloitetaan holvimassan levitys linjalta 42 kahdessa rintaauksessa.

Holvimassan levityksen edetessä riittävän pitkälle betonoidaan seuraava 1/6 palkeista puoleen väliin korkeussuunnassa ja sen perään jälleen holvin kantaan minkä jälkeen holvin betonointi etenee ko. aluelle.

Näin edetään kohti linjaa 47, jonne valu päättyy.

Välijälkihoitoaine levitetään välittömästi linjaroinnin jälkeen ja lopullinen jälkihoitoaine hiertämisen jälkeen.

Hierto aloitetaan n. klo 15.00 edeten samassa suunnassa, kuin betonointikin.

Jos ennusteesta huolimatta runsas vesisade yllättää joudutaan tiukkaan hierontaan hylkäämään ja käymään pinta läpi kevyemmällä käsikoneella. Tällöin voidaan holvin pintakerrosta paksuntaa 5mm hiontaa varten. Jos mahdollinen vesisade näyttää loppuvan, voidaan pintaa kuivata ja yrittää tehdä se tiukkaan hierrettynä. Päätös pinnan laadusta tehdään yhdessä tilaajan kanssa vallitsevan sään mukaan. Jälkihoitoaine levitetään välittömästi pinnan lopullisen hierron jälkeen.

RKL SIERAK OY:n psta 10.9.2014

BETOPLUS-LASKELMA

RUDUS OY

BetoPlus-laskelma

NCC Rakennus Oy, Suomenlahdentie 1, Espoo

Antti Nietula

15.9.2014

Rudus

BETOPLUS-LASKELMA



BetoPlus-laskelma

NCC Rakennus Oy / 12062/313320
Matinkylän metroas.
Suomenlahdentie 1, Espoo
Loggeri-laskelma (holvivalu) (omat loggerit)

Arvioitu lujuudenkehitys BetoPlus-ohjelmalla rakenteesta mitattujen lämpötilojen mukaan. Rakenteen ikä arvioimishetkellä on noin 3 vrk.

tiedostot: 11092014 LOGGER 4 DATA HOLVI45cm MATINK METROK.xls
11092014 LOGGER 5 DATA HOLVI45cm MATINK METROK.xls

Lujuustasot rakenteessa ovat jo noin 30MPa. Jännityslujuus 30MPa näyttäisi saavutettavan näillä hetkillä. Maksimilämmöt ovat käyneet noin +53°C:ssa. Lämpötilaerot rakenteessa eivät saisi olla yli 20°C:siust a.

Oheisilla tuloksilla ei voi korvata työaikaista koekappalein suoritettua lujuudenseurantaa. BetoPlus-ohjelma ja sillä saadut tulokset perustuvat laboratorio- ja kenttäkokeilla määritettyihin sementin lämmöntuoton ja lujuudenkehityksen riippuvuuksiin. Tuloksiin vaikuttavat voimakkaasti betonimassan koostumus ja lämpötila, ulkoilman lämpötila ja tuulen nopeus, rakenteen mitat ja suojaus sekä mahdollinen lämmitysteho.

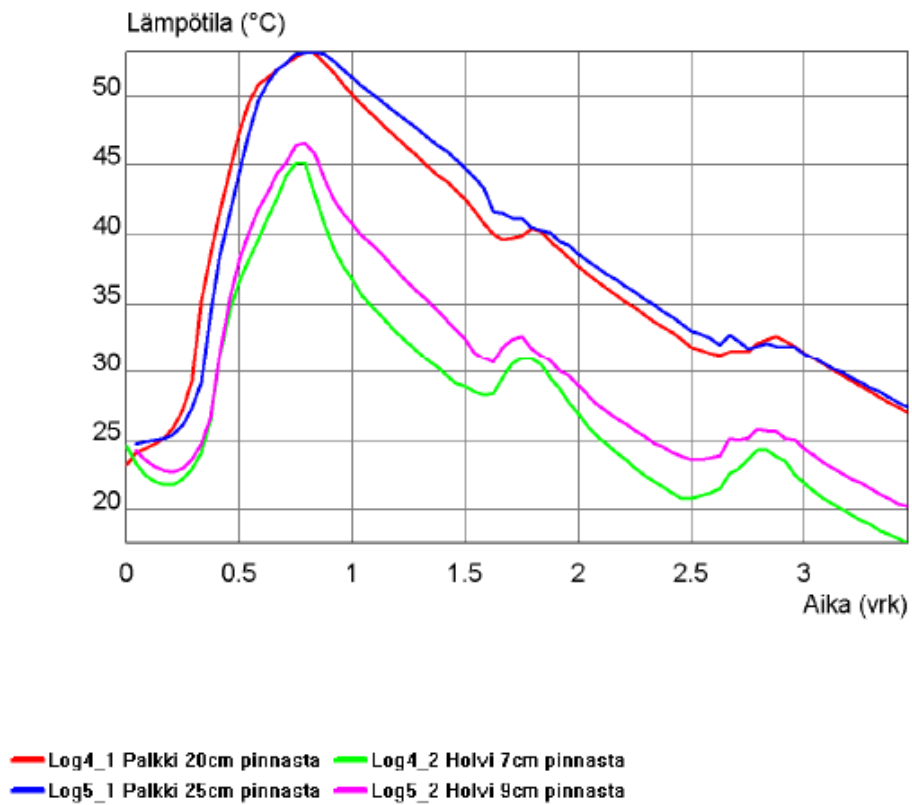
valupvm: 11.9.2014
betoni: NK C35/45 #16/32mm S4 (nopeasti kovettuva rakennebetoni)
(palkki #16mm, holvi #32mm)
tehdas: Vanttila & Jätkäsaari

BETOPLUS-LASKELMA

BetoPlus-laskelma

Rudus
15.9.2014

Lämpötilat:

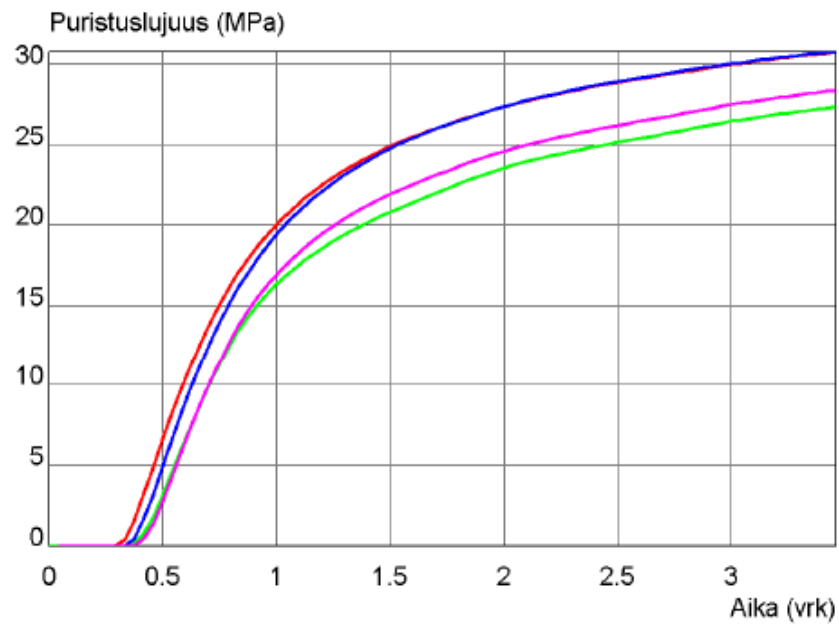


BETOPLUS-LASKELMA



BetoPlus-laskelma

Lujuudet:



Log4_1 Palkki 20cm pinnasta Log4_2 Holvi 7cm pinnasta
Log5_1 Palkki 25cm pinnasta Log5_2 Holvi 9cm pinnasta

PUNOSLUETTELO

JÄNNITYSKAAPELEIDEN YHTEENVETO

Sivu 1

FINNMAP CONSULTING Oy
RATAMESTARINKATU 7 a
PL88, 00521 HELSINKI
PUH 0207 393 300

TYÖNUMERO 50121

KOHDE MATINKYLÄN METROKESKUS
SUOMENLAHDENTIE 2-4
2230 ESPOO

JÄNNEMENETELMÄ: MK4 Tartunnattomat jänteet
Käyttöseloste 97

KAAPELITYYPPI: φ 15,7 mm Y 1860 S7
Ap = 150 mm²
Lukitusliukuma 5 mm

ALKUJÄNNITYS Po = 0 kN -
LOPULLINEN JÄNNITYS Po = 205 kN C25/30, LAATAN PUNOKSET
LOPULLINEN JÄNNITYS Po = 209 kN C25/30, PALKKIEN PUNOKSET

Venymät on laskettu esikivistysvoimasta P = 0 kN
Listassa ilmoitetut venymäarvot ovat lukitusliukuman jälkeisiä arvoja.

JÄNTEIDEN LKM: 269 kplANKKURIT: PASSIIVI (P) / AKTIIVI (A) 538 kplTEHOKAS PITUUS YHTEENSÄ: 11962.4 mKATKAISUPITUUS YHTEENSÄ: 12096.9 m

PALKKIEN PUNOSTEN
NUMEROINTI LUETTELOSSA: JPV-220-2=1001 -->
JPV-221-2=2001 -->
JPV-222-2=3001 -->
JPV-223-2=4001 -->

FINNMAP CONSULTING Oy
 RATAMESTARINKATU 7 a
 PL88, 00521 HELSINKI
 PUH 0207 393 300

SIVU
 TYÖ
 TILAUS

2
 50121

MATINKYLÄN METROKESKUS				V E N Y M Ä T (mm)				δL = (delta L)			
LOHKO 2				LASKETTU		MITATTU 0%		MITATTU 100%		KOK δL	
KAAP. NRO	VÄRI-	ANKKU- RIT	JÄNTEEN PITUUS(m)	δL	IDEAL	Flunkk	kN	Flunkk	kN		
				Max	Min	σ	N/mm²	σ	N/mm²		
165		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
166		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
167		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
168		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
169		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
170		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
171		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
172		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
173		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
174		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
175		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
176		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
177		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
178		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
179		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
180		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
181		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
182		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
183		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
184		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
185		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
186		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
187		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
188		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
189		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
190		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
191		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
192		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						
193		P / A	41.6 / 42.1	274							
				315	233						